

I. CORODEANU
P. MANOLESCU

I. CODRU
C. BUZATU

Electrotehnică

Generală

MANUAL PENTRU ȘCOLI DE MAÎȘTRI

Ing. I. CORODEANU
Ing. P. MANOLESCU

Ing. C. BUZATU
Ing. I. CODRU

Electrotehnică generală

MANUAL PENTRU ȘCOLI DE MAÎȘTRI



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ BUCUREȘTI

CUPRINS

Capitolul I. Electrostatica	7	3. Legarea pilelor și a acumula- toarelor	42
1. Natura electricității și struc- tura materiei	7	Capitolul IV. Magnetism și electro- magnetism	44
2. Electrizare, sarcini electrice, electroscop	7	1. Magneți naturali și magneți artificiali. Câmp magnetic	44
3. Legea lui Coulomb	10	2. Câmp magnetic datorit cu- rentului electric. Spectre mag- netice	45
4. Câmp electric	12	3. Inducția magnetică. Linii de forță magnetică	47
5. Potențial electric. Diferență de potențial	13	4. Flux de inducție magnetică	49
6. Linii de forță și suprafețe echipotențiale	16	5. Inducția magnetică și inten- sitatea câmpului magnetic datorite curenților electrici	50
7. Corpuri conductoare, izo- lante și semiconductoare	17	6. Forțe electromagnetice și forțe electrodinamice	52
8. Densitatea de sarcină elec- trică	18	7. Magnetizarea și demagne- tizarea oțelului. Histerezis	55
9. Fenomene electrostatice și electrocinetice	18	8. Electromagneți	58
10. Electricitatea statică în industrie	19	9. Circuitul magnetic	59
11. Condensatorul electric	21	10. Forța portantă a electromag- netului	61
12. Legarea condensatoarelor electrice	22	Capitolul V. Inducție electromagne- tică	63
13. Străpungerea dielectricului. Rigiditate dielectrică	24	1. Producerea forței electromo- toare de inducție prin variația fluxului magnetic în spire	63
14. Condensatoare industriale și fabricarea lor	24	2. Producerea forței electromo- toare de inducție prin tăierea de către un conductor a lini- ilor de forță magnetice	66
Capitolul II. Circuite de curent con- tinuu	27	3. Curenți turbionari (Foucault)	68
1. Curentul electric	27	4. Inducție proprie	69
2. Forța (tensiunea) electromo- toare	28	5. Inducție mutuală	71
3. Rezistența electrică	28	6. Cuplajul bobinelor	73
4. Legea lui Ohm	30	Capitolul VI. Unități de măsură	75
5. Legile lui Kirchhoff	31	Capitolul VII. Circuite de curent al- ternativ monofazat	79
6. Legarea rezistențelor	33	1. Producerea curentului alter- nativ	79
7. Legea lui Joule-Lenz. Energia electrică	35		
8. Puterea electrică	36		
Capitolul III. Pile. Acumulatori	38		
1. Curentul prin electroliți. Elec- troliza	38		
2. Pile și acumulatori	39		

2. Caracteristicile principale ale mărimilor electrice alternative sinusoidale	84	2. Materiale conductoare . . .	132
3. Efectele curentului alternativ	86	3. Materiale semiconductoare .	141
4. Reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative sinusoidale	87	4. Materiale izolante	142
5. Condensatorul în cazul curentului alternativ	90	5. Materiale magnetice	147
6. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductivitate și capacitate în serie	90	<i>Capitolul XI. Măsurări electrice</i> .	150
7. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductivitate și capacitate în paralel . .	95	1. Generalități asupra aparatelor electrice de măsurat .	150
8. Puterea și energia electrică în cazul curentului alternativ	99	2. Eroarea aparatelor. Clasa de precizie	156
9. Îmbunătățirea factorului de putere cu ajutorul condensatorului	101	3. Marcarea aparatelor de măsurat	157
10. Rezonanța electrică	103	4. Măsurarea curentului	158
<i>Capitolul VIII. Circuite de curent alternativ polifazat</i>	107	5. Măsurarea tensiunii	160
1. Producerea curenților trifazați	107	6. Măsurarea rezistențelor . . .	162
2. Gruparea forțelor electromotoare și tensiunilor trifazate .	109	7. Măsurarea puterii	165
3. Relațiile între tensiuni și curenți în cazul legării în triunghi și al legării în stea .	111	8. Măsurarea energiei electrice .	168
4. Legarea la rețea a receptoarelor trifazate în stea și în triunghi	113	9. Măsurarea factorului de putere ($\cos \alpha$)	170
5. Puterea și energia electrică în cazul rețelelor trifazate simetrice	114	10. Măsurarea frecvenței	171
6. Sisteme bifazate	116	11. Reguli practice pentru folosirea aparatelor de măsurat .	171
<i>Capitolul IX. Fenomene electrice în gaze rarefiate și în vid</i> . . .	117	12. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice	172
1. Descărcări electrice în gaze .	117	<i>Capitolul XII. Aparataj electric</i> .	174
2. Razele X (Roentgen)	119	1. Generalități, Clasificare, definiții	174
3. Emisia termoelectrică	120	2. Conduce electrice	175
4. Tuburi electronice	121	3. Aparat de protecție. Relee .	177
5. Tuburi ionice	125	4. Aparat de conectare	192
6. Emisia fotoelectrică. Celula fotoelectrică	126	5. Aparat de reglare	215
7. Tubul catodic. Televiziunea .	127	6. Cutii de distribuție	217
8. Tranzistoare	129	7. Celule de înaltă tensiune . .	218
<i>Capitolul X. Materialele electrotehnice</i>	130	8. Aparat pentru limitarea curenților de scurtcircuit .	221
1. Noțiuni generale, clasificare	130	9. Montare, exploatare, întreținere	221
		<i>Capitolul XIII. Transformatoare</i> .	223
		1. Principiul de funcționare al transformatorului electric .	223
		2. Utilizarea transformatoarelor .	226
		3. Construcția transformatoarelor .	227
		4. Tensiunea de scurtcircuit și mersul în paralel al transformatoarelor	231
		5. Autotransformatorul	232
		6. Transformatoare de măsură .	233
		7. Transformatoare de sudură .	235
		8. Întreținerea transformatoarelor	236
		<i>Capitolul XIV. Mașini asincrone</i> .	237
		1. Generalități	237

2. Producerea unui câmp magnetic învîrtitor	237
3. Descompunerea unui câmp magnetic alternativ în două cîmpuri magnetice învîrtitoare	241
4. Principiul de funcționare al motorului asincron	242
5. Alunecarea motorului asincron	244
6. Cuplul motorului asincron	246
7. Construcția motorului asincron	248
8. Pornirea, schimbarea sensului de mers și reglajul turației la motoarele asincrone trifazate	251
9. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate	251
10. Motorul asincron monofazat	253
11. Generatorul asincron	254

Capitolul XV. Mașini sincrone

1. Principiul de funcționare al generatorului sincron	255
2. Motorul sincron	259
3. Utilizarea mașinilor sincrone	260
4. Construcția mașinilor sincrone	261
5. Mersul în paralel al generatoarelor sincrone	263

Capitolul XVI. Mașini de curent continuu

1. Principiul de producere a curentului continuu în generatorul de curent continuu	267
2. Reacția indusului	273
3. Comutația	274
4. Excitația generatoarelor de curent continuu și caracteristicile lor externe	276
5. Mersul în paralel al generatoarelor de curent continuu	281
6. Principiul de funcționare al motorului de curent continuu	281
7. Pornirea, reglarea turației și schimbarea sensului de rotație la motorul de curent continuu	283
8. Diferite tipuri de motoare de curent continuu și caracteristicile lor mecanice	285
9. Construcția mașinilor de curent continuu	289

Capitolul XVII. Motoare de curent alternativ cu colector. Întreținerea și defectele mașinilor electrice

1. Motorul monofazat serie	292
2. Motorul monofazat cu repulsie	292
3. Motorul trifazat serie cu colector	293
4. Motorul trifazat derivație cu colector	294
5. Întreținerea și defectele mașinilor electrice	294

Capitolul XVIII. Convertizoare și redresoare

1. Convertizoare rotative	296
2. Redresoare	297

Capitolul XIX. Iluminatul electric

1. Noțiuni generale: mărimi și unități fotometrice de bază, sisteme de iluminat	306
2. Izvoare de lumină	309
3. Corpuri de iluminat	314
4. Calculul iluminatului cu corpuri de iluminat	316
5. Calculul iluminatului cu proiectoare	319

Capitolul XX. Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale

1. Generalități	320
2. Producerea și transportul energiei electrice	321
3. Stații și posturi de transformare	324
4. Distribuția energiei electrice	326
5. Factorul de putere	345

Capitolul XXI. Protecția instalațiilor electrice

1. Cazurile anormale în care trebuie să intervină dispozitivele de protecție	350
2. Curenții de scurtcircuit	353
3. Protecția motoarelor electrice	354
4. Protecția rețelilor electrice	356
5. Protecția transformatoarelor	357
6. Protecția instalațiilor contra supratensiunilor	357

Capitolul XXII. Protecția contra accidentelor de electrocutare

1. Accidente de electrocutare	359
---	-----

2. Producerea accidentelor de electrocutare și mijloace pentru prevenirea lor	360	1. Structura generală a sistemelor automate	391
3. Protecția contra electrocutării prin legarea la pământ	363	2. Elementele sistemelor automate	396
Capitolul XXIII. Tracțiunea electrică	365	3. Sisteme automate	416
1. Noțiuni generale. Clasificarea principalelor tipuri de tracțiune electrică	365	4. Stabilitatea sistemelor de reglare automate și calitatea reglării	425
2. Tracțiunea electrică feroviară	366	5. Telemecanica	426
3. Tracțiunea electrică urbană	370	Capitolul XXVII. Procedee electro-tehnologice și de prelucrare prin ultrasunete	433
Capitolul XXIV. Sudarea electrică	372	1. Cuptoare electrice	433
1. Noțiuni generale. Clasificarea procedeelor de sudare electrică	372	2. Procede electrochimice	438
2. Sudarea electrică prin rezistență de contact	373	3. Prelucrarea metalelor prin metoda anodo-mecanică	440
3. Sudarea prin arc electric	377	4. Prelucrarea (găurirea) metalelor prin scintei electrice	441
Capitolul XXV. Acționarea electrică a utilajelor industriale	381	5. Încălzirea în electrolit și prin pierderi în dielectric	442
1. Principii generale ale acționării electrice	381	6. Încălzirea prin radiații infraroșii	442
2. Alegerea motoarelor electrice în raport cu regimul de lucru	382	7. Prelucrarea prin ultrasunete	443
3. Echipamente și scheme electrice de acționare	386	Capitolul XXVIII. Semnalizări și telecomunicații	445
Capitolul XXVI. Noțiuni de automată	391	1. Semnalizări acustice	445
		2. Noțiuni de telegrafie	449
		3. Noțiuni de telefonie	453
		4. Noțiuni de radiofonie	457
		5. Noțiuni de televiziune	461

CAPITOLUL I

ELECTROSTATICA

1. NATURA ELECTRICITĂȚII ȘI STRUCTURA MATERIEI

Din fizică se știe că cea mai mică parte dintr-un corp care *păstrează proprietățile corpului* se numește *moleculă*, iar moleculele sînt constituite din *atomi*. La rîndul său, atomul este constituit dintr-un nucleu (miez) central încărcat cu electricitate pozitivă și una sau mai multe particule, mult mai mici, încărcate cu electricitate negativă, numite *electroni*. Electronii se deplasează în jurul nucleului pe anumite *orbite* (traieectorii închise).

Electronul conține sarcina electrică cea mai mică ce poate exista în natură. Sarcina electrică se măsoară cu o unitate de măsură numită coulomb*. Un electron are totdeauna o sarcină negativă de $1,6 \cdot 10^{-19}$ C**. În mod normal, sarcina pozitivă a nucleului dintr-un atom este egală cu sarcina negativă a electronilor din același atom, astfel încît atomul, ca și corpul din care face parte este neutru din punct de vedere electric.

Dacă față de starea neutră, atomii unui corp au un număr mai mare de electroni, *corpul este încărcat negativ*, adică are o *sarcină electrică negativă*. Dacă, dimpotrivă, fața de starea neutră numărul electronilor este mai mic, *corpul este încărcat pozitiv*, adică are o *sarcină electrică pozitivă*.

2. ELECTRIZARE, SARCINI ELECTRICE, ELECTROSCOP

Dacă se freacă cu o bucată de stofă, de exemplu, un baston de sticlă acesta capătă proprietatea de a atrage unele obiecte ușoare. Se spune că bastonul de sticlă s-a *electrizat prin frecare*. Același lucru se petrece cu un baston de rășină.

* Se citește *coulomb* și se notează cu litera C. Această unitate de măsură face parte din sistemul internațional de unități SI, obligatoriu în țara noastră (vezi capitolul VI).

** $10^{-19} = \frac{1}{10^{19}}$ și în general $X^{-a} = \frac{1}{X^a}$.

Electrizarea bastonului de sticlă prin frecare corespunde pierderii unui anumit număr de electroni, care trec pe bucata de stofă cu care a fost frecat. De asemenea, electrizarea prin frecarea bastonului de rășină corespunde trecerii pe baston a unui număr de electroni de pe stoffa cu care a fost frecat.

Electrizarea (încărcarea unui corp cu sarcini electrice) se poate obține și prin contactul direct cu un corp electrizat. Acest fel de electrizare se numește *electrizare prin contact*.

Se consideră bobita B din măduvă de soc suspendată printr-un fir F de mătase, de un cârlig sprijinit pe un suport de lemn (fig. 1-1). Acest dispozitiv se numește *pendul electric*. Dacă se freacă cu o bucată de piele un baston A de sticlă și se apropie de bobită, se constată că bobita este *atrăsă* de baston. După ce bobita atinge bastonul ea este respinsă de acesta. Explicația este următoarea: când bastonul de sticlă a fost frecat, el s-a *încărcat* cu electricitate (s-a electrizat, s-a încărcat cu o anumită sarcină electrică); în această stare, el exercită o forță de atracție asupra bobitei. La atingerea cu bastonul (electrizare prin contact), bobita s-a încărcat și ea cu electricitate fiind apoi respinsă de baston.

În figura 1-2 se consideră două pendule electrice. Dacă se încarcă cu electricitate ambele bobite (se ating cu bastonul de sticlă frecat), ele se resping, așezându-se în pozițiile $a-a$.

Se ating acum bobitele altor două pendule cu un baston de rășină frecat și și se apropie. Și de data aceasta bobitele se resping.

Dacă se apropie o bobită electrizată cu bastonul de sticlă, de una electrizată cu bastonul de rășină, se observă că ele se atrag (pozițiile $b-b$).

Deci, electricitatea provenită de la bastonul de sticlă este diferită de aceea provenită de la bastonul de rășină. Primul fel de electricitate s-a numit *sticloasă* sau *pozitivă* (notată cu semnul $+$), iar al doilea fel de electricitate — *rășinoasă* sau *negativă* (notată cu semnul $-$).

Din aceste experiențe rezultă următoarea concluzie: *corpurile încărcate cu electricitate de același fel se resping, iar cele încărcate cu electricitate de nume diferit se atrag*.

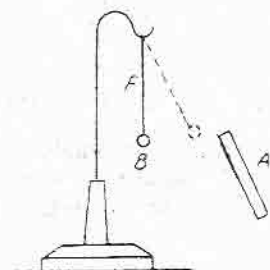


Fig. 1-1. Pendul electric:
 A — baston de sticlă sau de rășină; B — bobită din măduvă de soc; F — fir de mătase.

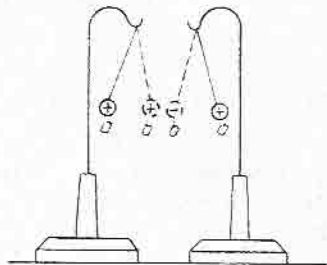


Fig. 1-2. Atracția și respingerea corpurilor electrizate:
 $a-a$ — poziție de respingere;
 $b-b$ — poziție de atracție.

Până acum s-a stabilit că electrizarea corpurilor poate fi obținută *prin frecare* sau *prin contact*. Un alt mod de electrizare este electrizarea *prin influență*.

Se consideră o sferă A încărcată pozitiv, care se apropie de conductorul neutru B , așezat pe un suport izolant (fig. 1-3). Sarcinile libere negative (electronii liberi)* din conductorul B se dirijează spre extremitatea din apropierea sferei A , fiind atrase de sarcinile pozitive ale acesteia, iar sarcinile pozitive din conductorul B rămân la extremitatea opusă. Dacă această din urmă extremitate se leagă la pământ printr-un fir conductor, un număr de electroni liberi din pământ sînt atrași prin fir de conductorul B . Între-rupînd legătura la pământ și îndepărtînd sfera A , corpul B rămîne încărcat negativ. Electrizarea în modul arătat a corpului B se numește electrizare *prin influență* sau *prin inducție electrică*.

Electroscopul este un aparat cu care se pot determina gradul și felul de electrizare al unui corp (fig. 1-4). El este constituit din vasul de sticlă

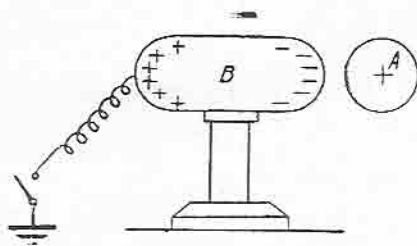


Fig. 1-3. Electrizarea prin influență.

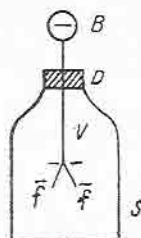


Fig. 1-4.
Electroscop.

S cu dopul izolant D , prin care trece vergeaua metalică V , terminată în interior prin foițele f , și în exterior prin sfera B . Foițele și sfera sînt, de asemenea, metalice. Dacă sfera B este atinsă cu un corp electrizat sarcinile electrice, răspîndindu-se prin vergeaua metalică, ajung la foițe și exercită între aceste forțe de respingere. Foițele se îndepărtează cu atît mai mult cu cît electrizarea este mai puternică.

Dacă se leagă sfera printr-un fir metalic cu pămîntul, sarcinile primite trec spre pămînt. Electroscopul devine neutru din punct de vedere electric, astfel că foițele se apropie una de alta.

Pentru a determina dacă un corp este electrizat pozitiv sau negativ se încarcă mai întîi electroscopul cu un anumit fel de sarcini, de exemplu cu sarcini negative. Dacă, atingînd acum corpul electrizat de sfera electroscopului, se observă o depărtare mai puternică a foițelor, corpul este încărcat tot cu sarcini negative. Dacă foițele *se apropie mai întîi* și apoi se depărtează corpul este încărcat cu sarcini pozitive. Determinarea se poate face și dacă se apropie, fără să se atingă, corpul respectiv de sfera electroscopului (prin influență).

* Se va explica la paragr. 7.

3. LEGEA LUI COULOMB

Se consideră două corpuri punctiforme (de dimensiuni foarte reduse) încărcate cu sarcinile electrice Q_1 și Q_2 (fig. 1-5).

Experiența arată că forța de atracție sau de respingere între aceste corpuri are direcția dreptei care unește corpurile, iar valoarea ei este dată de relația :

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon r^2} \quad (1.1)$$

în care :

r este distanța dintre cele două corpuri, în m ;

Q_1, Q_2 — sarcinile electrice ale corpurilor, în C (coulombi) ;

ϵ — (literă grecească care se citește *epsilon*) o mărime numită *permilitivitate* sau *constantă dielectrică* și care depinde de mediul (aer, apă etc.) în care se găsesc corpurile ;

F — forța, măsurată în N (newtoni)*.

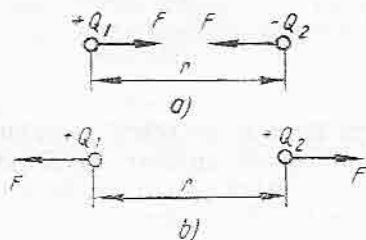


Fig. 1-5. Forțele de atracție sau de respingere între două corpuri electrizate.

Relația (1.1) se numește *legea lui Coulomb* și se poate exprima astfel : *Forța de atracție sau de respingere dintre două corpuri încărcate cu sarcini electrice este direct proporțională cu produsul sarcinilor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre corpuri ; dacă sarcinile sînt de nume diferit (fig. 1-5, a) forța este de atracție, iar dacă sînt de același fel (fig. 1-5, b) forța este de respingere.*

Cînd corpurile se găsesc în vid, permitivitatea are valoarea

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ unități de permitivitate.}$$

* Se citește *niuton* ; 1 kilogram-forță (nu face parte din SI) = 9,81 newtoni.

Raportul ϵ_r dintre permitivitatea ϵ a unui material și permitivitatea ϵ_0 a vidului se numește *permitivitate relativă* a materialului (tabela 1-1).

Tabela 1-1

Permitivități relative ale unor materiale

Denumirea materialului	$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	Denumirea materialului	$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$
Aer	1	Mică	4 8
Hirtie	1,8 . . . 2,6	Porțelan	5,5 . . . 6
Ulei de transformator	2,3 . . . 2,5	Parafină	6
Cauciuc moale	2,6 . . . 3,2	Sticlă	7 8
		Apă distilată	80

Cunoscând permitivitatea relativă ϵ_r se poate deduce permitivitatea absolută cu ajutorul relației: $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$.

Aplicația 1-1. În vîrfurile unui pătrat cu latura $l=3$ m se găsesc corpuri punctiforme încărcate cu următoarele sarcini electrice (fig. 1-6):

$$q_1 = +10^{-4} \text{C} \quad q_3 = +3 \cdot 10^{-4} \text{C}$$

$$q_2 = -2 \cdot 10^{-4} \text{C} \quad q_4 = -4 \cdot 10^{-4} \text{C}$$

Să se determine forța care acționează asupra unui corp punctiform situat în aer în centrul pătratului și încărcat cu sarcina electrică $q = +5 \cdot 10^{-4} \text{C}$.

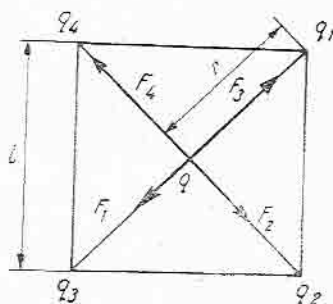


Fig. 1-6. Forțe electrice.

Rezolvare. Cu notațiile din figura 1-6 se poate scrie:

$$l^2 = 2r^2,$$

de unde:

$$r^2 = \frac{l^2}{2} = \frac{3^2}{2} = 4,5 \text{ m}^2.$$

Conform legii lui Coulomb:

$$F_1 = \frac{q \cdot q_1}{\epsilon_r \epsilon_0 4\pi r^2} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}} = 100 \text{ N}.$$

Sarcinile q și q_1 fiind de același semn, F_1 este o forță de respingere.

În mod analog se găsesc:

$$F_2=200 \text{ N}; F_3=300 \text{ N}; F_4=400 \text{ N}.$$

Conform semnelor sarcinilor electrice, F_2 și F_4 sînt forțe de atracție, iar F_3 forță de respingere.

Prin compunerea forțelor F_3 cu F_1 se găsește rezultanta:

$$F_{31}=F_3-F_1=300-100=200 \text{ N},$$

după direcția și sensul forței F_3 , care este mai mare decît F_1 .

Prin compunerea forțelor F_4 cu F_2 se găsește rezultanta:

$$F_{42}=F_4-F_2=400-200=200 \text{ N},$$

după direcția și sensul forței F_4 .

Cele două forțe F_{31} și F_{42} sînt perpendiculare între ele, iar rezultanta lor este:

$$F=\sqrt{F_{31}^2+F_{42}^2}=\sqrt{200^2+200^2}=282,8 \text{ N}=28,8 \text{ kgf}.$$

4. CÎMP ELECTRIC

Forțele care se exercită între corpurile încărcate cu electricitate se transmit de la un corp la celălalt cu o viteză foarte mare, egală cu viteza luminii. Un corp încărcat cu electricitate creează în jurul său un *cîmp electric*, care este o formă de existență a materiei, caracterizată prin proprietatea de a transmite acțiunea unor corpuri electrizate asupra altor corpuri electrizate.

În fiecare punct al său cîmpul electric poate fi reprezentat printr-o mărime vectorială, numită de obicei tot cîmp electric. Această mărime vectorială are o intensitate (valoare), o direcție și un sens și se notează cu \vec{E} .

În figura 1-7, *a* se presupune un corp punctiform cu sarcina electrică $+Q$. Se cere să se determine cîmpul electric în punctul P la distanța r de sarcina Q .

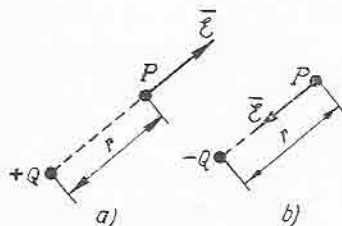


Fig. 1-7. Cîmp electric.

Intensitatea cîmpului electric creat de o sarcină Q într-un punct P la distanța r de aceasta (fig. 1-7. a) este dată de relația :

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}.$$

Sensul mărimii vectoriale $\vec{\mathcal{E}}$ este sensul forței \vec{F} care s-ar exercita asupra unei particule încărcate cu o sarcină pozitivă care s-ar afla în punctul P . De aici rezultă că, dacă sarcina Q este pozitivă (fig. 1-7. a) sensul vectorului $\vec{\mathcal{E}}$ este *dînspre* sarcina Q , iar dacă sarcina Q este negativă (fig. 1-7. b), sensul este *înspre* această sarcină.

În cazul mai multor sarcini electrice, cu de exemplu $+Q_1$ și $-Q_2$ (fig. 1-8), cîmpul electric $\vec{\mathcal{E}}$ într-un punct oarecare P rezultă din compunerea cîmpului electric $\vec{\mathcal{E}}_1$, datorit sarcinii Q_1 cu cîmpul electric $\vec{\mathcal{E}}_2$, datorit sarcinii $-Q_2$. Dacă sînt mai mult decît două sarcini electrice, cîmpul rezultat al primelor două sarcini se compune cu cîmpul electric al sarcinii a treia, rezultanta corespunzătoare celor trei sarcini electrice se compune cu cîmpul electric al sarcinii a patra ș.a.m.d., pînă cînd se obține rezultanta corespunzătoare tuturor sarcinilor.

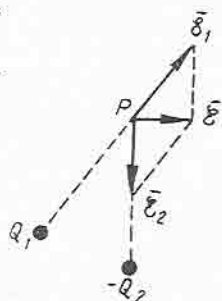


Fig. 1-8. Cîmp electric rezultat.

Se observă că legea lui Coulomb — relația (1.1) — pentru corpurile electrizate din figura 1-5 se poate scrie și astfel :

$$F_1 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon \cdot r^2} = \mathcal{E}_1 \cdot Q_2 = \mathcal{E}_2 \cdot Q_1, \quad (1.3)$$

în care :

\mathcal{E}_1 este intensitatea cîmpului electric produs de sarcina Q_1 în punctul unde se găsește sarcina Q_2 ;

\mathcal{E}_2 — intensitatea cîmpului electric produs de sarcina Q_2 în punctul unde se găsește sarcina Q_1 .

Rezultă deci următoarea concluzie : Valoarea forței care se exercită asupra unui corp electrizat situat într-un cîmp electric este egală cu intensitatea cîmpului electric în punctul unde se găsește corpul, înmulțită cu valoarea sarcinii electrice a aceluia corp.

5. POTENȚIAL ELECTRIC. DIFERENȚĂ DE POTENȚIAL

Se consideră în cîmpul electric al sarcinii $+Q$ o altă sarcină de același semn $+q$ la distanța r (fig. 1-5). Conform legii lui Coulomb, corpul cu sarcina electrică $+q$ va fi respins cu o anumită forță, și anume pînă la o dis-

tanță foarte mare, sub influența cîmpului electric produs de $+Q$ (teoretic se consideră această distanță infinită).

Prin această deplasare pe direcția forței se efectuează un anumit lucru mecanic. În consecință, corpul cu sarcina $+q$ la distanța r de $+Q$ are o anumită *energie electrică potențială*, care permite efectuarea lucrului respectiv.

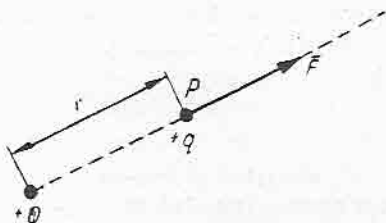


Fig. 1-9. Sarcina electrică $+q$ în cîmpul electric al sarcinii $+Q$.

Dacă se calculează această energie se găsește că ea este egală cu :

$$W = \frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r} \quad (1.4)$$

Dacă în loc de sarcina de q coulombi se consideră o sarcină de 1 coulomb, energia potențială este :

$$\frac{Q \cdot 1}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r}$$

Expresia :

$$V = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r}$$

se numește *potențialul electric* produs de sarcina Q în punctul P la distanța r de Q . Relația (1.4) arată că prin simpla înmulțire a potențialului electric dintr-un punct cu sarcina electrică q din acel punct se poate obține energia electrică potențială respectivă.

Dacă există mai multe sarcini $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ atunci potențialul într-un punct este suma algebrică a potențialelor tuturor sarcinilor.

Potențialul se măsoară cu o unitate de măsură numită *volt* (V).

În figura 1-10 se consideră o sarcină electrică $+q$ într-un cîmp electric produs de sarcina $+Q$, în punctul P_1 , la distanța r_1 de Q . Energia electrică potențială în acest punct P_1 este :

$$W_1 = \frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r_1} = V_1 \cdot q \quad (1.5)$$

în care V_1 este potențialul electric în P_1 .

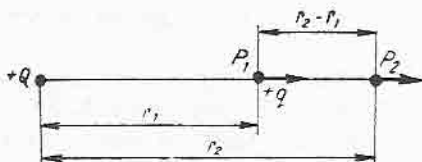


Fig. 1-10. Diferența de potențial electric între punctele P_1 și P_2 .

Dacă sarcina se găsește în punctul P_2 la distanța r_2 de Q , energia electrică potențială este :

$$W_2 = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon \cdot r_2} = V_2 \cdot q, \quad (1.6)$$

în care V_2 este potențialul electric în P_2 .

Deoarece W_1 este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii q din P_1 la infinit, iar W_2 este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii q din P_2 la infinit, înseamnă că $W_1 - W_2$ va fi lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii din punctul P_1 în P_2 . Ținând seama de relațiile (1.5) și (1.6) se poate scrie :

$$W_1 - W_2 = V_1 \cdot q - V_2 \cdot q = (V_1 - V_2)q; \quad (1.7)$$

Expresia :

$$U = V_1 - V_2$$

se numește *diferența de potențial* sau *tensiunea electrică* între punctele P_1 și P_2 . Din relația (1.7) se obține :

$$W_1 - W_2 = U \cdot q, \quad (1.8)$$

ceea ce arată că diferența dintre energiile potențiale W_1 și W_2 , care se transformă în lucru mecanic prin deplasarea sarcinii q între cele două puncte P_1 și P_2 , este egală cu diferența de potențial U dintre cele două puncte înmulțită cu valoarea sarcinii q .

Notînd distanța dintre cele două puncte cu d , se poate demonstra pe baza formulelor anterioare, că intensitatea medie a cîmpului electric pe distanța d este dată de relația :

$$\mathcal{E} = \frac{U}{d} \quad (1.9)$$

Unitatea de măsură a diferenței de potențial este tot voltul, ca și unitatea de potențial. Deoarece distanța d se măsoară în metri, din relația (1.9) rezultă că unitatea de măsură a cîmpului electric este volt pe metru (V/m).

Aplicație 1-2. În punctul P (fig. 1-11) se găsește un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică $q = 2 \cdot 10^{-8}$ coulombi.

Să se determine diferența de potențial $V_B - V_A$ între punctele B și A arătate pe figură, precum și intensitatea cîmpului electric în B și A . Mediul înconjurător este aerul.

R e z o l v a r e. Potențialul în punctul A este :

$$V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 \cdot PA} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 2} = 90 \text{ V.}$$

În mod analog, potențialul în punctul B este:

$$V_B = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9} = 180 \text{ V.}$$

Diferența de potențial dintre punctele B și A este:

$$V_B - V_A = 180 - 90 = 90 \text{ V.}$$

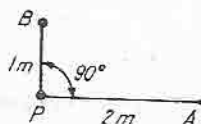


Fig. 1-11.

Intensitatea câmpului electric în A este:

$$E_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 \cdot PA^2} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2^2} = 45 \text{ V/m.}$$

În mod analog, se găsește:

$$E_B = 180 \text{ V/m.}$$

6. LINII DE FORȚĂ ȘI SUPRAFEȚE ECHIPOTENȚIALE

Dacă pentru fiecare punct dintr-un câmp electric s-ar trasa vectorul câmpului corespunzător punctului respectiv, s-ar constata că acest vector rămâne tangent la niște curbe numite *linii de forță* ale câmpului electric. În figura 1-12, curba C reprezintă o asemenea linie de forță. Liniile de forță au sensul câmpului electric.

În figura 1-13 sînt reprezentate în trăsături pline liniile de forță ale câmpului unei sarcini pozitive.

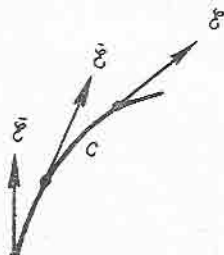


Fig. 1-12. Linie de forță.

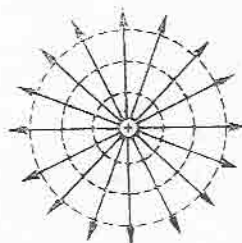


Fig. 1-13. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale ale unei sarcini pozitive.

Suprafețele față de care liniile de forță sînt perpendiculare au toate punctele lor la același potențial, și, din această cauză, se numesc *suprafețe echipotențiale* (adică de același potențial). Pentru o sarcină punctiformă, suprafețele echipotențiale sînt sfere cu centrul în punctul unde se găsește sarcina electrică (fig. 1-13).

7. CORPURI CONDUCTOARE, IZOLANTE ȘI SEMICONDUCTOARE

Unele corpuri neutre din punct de vedere electric conțin *electroni liberi* (adică sarcini negative libere), nefixați în atomi și care au continuu o mișcare dezordonată, ca și moleculele unui gaz. Aceste sarcini negative libere sînt neutralizate de un număr corespunzător de sarcini pozitive. Acestea sînt reprezentate de particule atomice cu nucleu pozitiv și electroni cu o sarcină totală negativă *mai mică* decît sarcina pozitivă a nucleului. Dacă între două puncte ale unui asemenea corp (un fir metalic de exemplu) se realizează o diferență de potențial și deci apare un cîmp electric, electronii liberi sînt împinși într-o mișcare generală după direcția cîmpului electric. Asemenea corpuri se numesc *bune conducătoare de electricitate* sau *conducătoare*.

La alte corpuri, numite *rele conducătoare de electricitate, dielectrice* sau *izolante*, nu există astfel de electroni liberi, care să poată fi puși în mișcare de o diferență de potențial.

Metalele și unele lichide sînt conductoare. Pămîntul este de asemenea conductor. Sticla, porțelanul, cauciucul, lemnul uscat, gazele ș.a. sînt *izolante*.

Există și corpuri solide numite semiconductoare (ca, de exemplu, seleniul, germaniul, siliciul), care pot avea proprietăți conductoare sau izolante în funcție de anumite condiții.

Conductivitatea lor crește neliniar o dată cu temperatura.

De asemenea, s-a constatat că mici adaosuri din alte substanțe, numite impurități, influențează foarte mult conductivitatea semiconductoarelor. Adaosurile pot acționa în două moduri. Unele impurități au proprietatea ca sub influența anumitor cauze* să dea semiconductorului electroni — care sînt particule cu sarcini *negative*. În acest caz semiconductorul se numește de *tip n*, putînd deveni conductor prin deplasarea electronilor menționați. Există impurități, care sub influența anumitor cauze, *primesc* electroni din semiconductor. Cînd un electron este scos dintr-un atom de semiconductor în acest atom rămîne un *gol*, echivalent cu o sarcină pozitivă, care este ocupat de un electron din atomul vecin, unde apare alt gol ș.a.m.d. În acest fel semiconductorul devine conductor prin deplasarea arătată a acestor

* Agitația termică, cîmp electric, radiații luminoase sau radioactive etc.

goluri — corespunzătoare deplasării unor sarcini *pozitive* — și se numește semiconductor de tip *p*.

Semiconductoarele au o foarte largă utilizare în practică, ca de exemplu la construcția redresoarelor, tranzistoarelor etc. (a se vedea cap. IX și XVIII). Materialele conductoare, semiconductoare și izolante utilizate în practică sint descrise la capitolul X.

8. DENSITATE DE SARCINĂ ELECTRICĂ

Un conductor electrizat nu poate conține în interiorul său sarcini electrice de același semn, libere. În adevăr, dacă ar exista asemenea sarcini, ele s-ar respinge pînă cînd ar ajunge la suprafața conductorului. (Dacă sarcinile ar fi de semne contrare, ele s-ar neutraliza). În consecință, un conductor electrizat are sarcini electrice numai la suprafața sa. La corpurile cu supra-

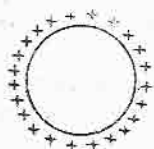


Fig. 1-14. Repartizarea sarcinilor electrice pe o sferă conductoare, electrizată pozitiv.

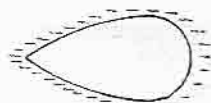


Fig. 1-15. Repartizarea sarcinilor electrice pe un conductor în formă de pară, electrizat negativ.

fața ne regulată, aceste sarcini nu se repartizează uniform pe suprafața conductorului (adică cu aceeași *densitate de sarcină electrică*). Acolo unde corpul prezintă vîrfuri sarcinile electrice se îndesesc (densitatea de sarcină electrică mare) și uneori sint chiar *expulzate* din corp; la o sferă însă, repartiția este uniformă (fig. 1-14). La un corp avînd forma unei pere (fig. 1-15), sarcinile se îndesesc spre vîrf, cu atît mai mult, cu cît vîrfurile sînt mai ascuțite.

9. FENOMENE ELECTROSTATICE ȘI ELECTROKINETICE

În figura 1-16, prin *A* și *B* s-au reprezentat două plăci metalice la distanța *d*, una încărcată cu sarcina pozitivă $+Q$, iar cealaltă cu sarcina negativă, $-Q$. Placa *B* are un surplus de electroni, iar placa *A*, o lipsă de elec-

troni față de starea neutră. În jurul plăcilor se creează un câmp electric. Dacă cele două plăci se leagă între ele, ca în figură, printr-un fir conductor C , surplusul de electroni de pe placa B (la potențialul V_B) se va deplasa sub influența forțelor electrice, prin conductorul C , la placa A (cu potențialul V_A) unde va completa lipsa de electroni.

După ce surplusul de electroni de pe placa B completează lipsurile de pe placa A (amândouă plăcile se neutralizează), diferența dintre potențialele V_A și V_B se anulează, circulația de electroni în conductorul C încetează, iar câmpul electric dispare.

Dacă ar exista un dispozitiv care să mențină permanent surplusul de electroni pe placa B și lipsa de electroni pe placa A , între aceste plăci ar exista mereu o diferență de potențial $V_A - V_B$, iar electronii vor circula în permanență în sensul săgeții e din figură. Dispozitivele care au proprietatea de a crea permanent o diferență de potențial între bornele (extremitățile) lor se numesc *surse electrice*, iar circulația continuă a electronilor printr-un conductor care leagă aceste borne constituie un *curent electric*. Curentul electric și sursele pentru producerea lui vor fi studiate în capitolele următoare.

Fenomenele în care electronii liberi, sub influența unui câmp electric, au o mișcare permanentă într-un conductor se numesc *fenomene electrocinetice*, adică de *mișcare a electricității* (pe grecește *kinematos* înseamnă mișcare). În afară de fenomenele electrocinetice, există fenomene *electrostatice*, când electronii *stau* în nemișcare, în echilibru, sau au mișcări limitate, după care revin în echilibru. Plăcile A și B din figura 1-16, încărcate cu sarcinile $+Q$ și $-Q$, nelegate prin conductorul C , produc un câmp electric, iar electronii rămân nemișcați. Acesta constituie un exemplu de *fenomen electrostatic*. Cu fenomenele electrostatice se ocupă *electrostatica*, o parte din știința electricității.

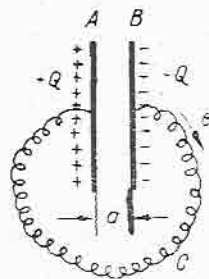


Fig. 1-16. Circulația electronilor printr-un conductor.

10. ELECTRICITATEA STATICĂ ÎN INDUSTRIE

Deși fenomenele electrocinetice au o foarte mare importanță practică, — după cum va rezulta din capitolele următoare —, totuși și fenomenele electrostatice joacă un rol important.

În afară de condensatoarele electrice obișnuite, care sînt studiate în paragrafele următoare ale acestui capitol, se menționează că în practică se întîlnesc și alte aparate electrostatice, ca, de exemplu, filtrele electrostatice

pentru desprăfuirea gazelor, dispozitivele de încălzire și uscare a lemnului în dielectricul unor condensatoare speciale ș.a.

Uneori însă electricitatea statică (produsă prin fenomene electrostatice) poate da naștere la efecte dăunătoare în industrie. În cele ce urmează se arată câteva cazuri mai tipice de producere nedorită a electricității statice în industrie.

În timpul funcționării unei transmisii prin curea, aceasta după cum se știe, are o anumită alunecare cu frecare față de roțile pe care se înfășoară. Din cauza acestei frecări, cureaua se încarcă cu electricitate statică negativă pe fața sa interioară, iar roata de curea, cu electricitate statică pozitivă, care se scurge prin corpul mașinii la pământ. Când cureaua atinge a doua roată, o jumătate de curea se neutralizează, iar jumătatea cealaltă de curea, care se deplasează în sens invers, se încarcă la fel cu electricitate negativă. Tensiunea curelei față de pământ poate atinge circa 80 kV la viteze de 15 m/s. Asemenea tensiuni pot produce descărcări sub forma unor scântei mari.

În general, se consideră nepericuloase transmisiile prin curea cu viteze sub 5 m/s pentru puteri de maximum 8 CP.

În afară de transmisiile prin curea, electricitatea statică se poate, în general, forma prin frecări sau șocuri ale materialelor dielectrice, în fabricile din industria cauciucului, a pielii artificiale, a hîrtiei, textilelor, uleiului, maselor plastice ș.a. Se menționează ca surse de electricitate statică transportoarele pneumatice, conductele de transportat lichid etc.

Electricitatea statică acumulată la tensiuni mari poate provoca comotii puternice muncitorilor și importante daune materiale, mai ales în locurile cu pericol de incendiu și explozie.

Măsurile de protecție sînt, în general, următoarele :

- evitarea apariției sarcinilor electrice ;
- neutralizarea sarcinilor electrice, mai înainte de a putea produce scînteii ;
- reducerea potențialului electric al sarcinilor care nu pot fi evitate.

Prescripțiile pentru prevenirea incendiilor ce s-ar putea produce din cauza electricității statice prevăd, în special, următoarele :

- legarea la pământ a carcaselor mașinilor, aparatelor și utilajelor în care se fărîmîțează substanțe producătoare de praf cu pericol de explozie ;
- legarea la pământ a transmisiilor și a arborilor respectivi ;
- legarea la pământ a conductelor ce transportă aer cu praf ;
- umezirea aerului ;
- captușirea filtrelor de pinză din conducte cu o plasă metalică legată la pământ ;
- legarea la pământ a părților metalice din conducte, rezervoare, pompe etc., utilizate în instalațiile pentru combustibili lichizi ;
- descărcarea la pământ a electricității statice produse de curelele de transmisie, cu ajutorul unor piepteni metalici și prin mărirea conductibilității electrice a curelelor (de exemplu, prin umezire sau ungere cu unsori conductoare).

11. CONDENSATORUL ELECTRIC

Condensatorul electric este un aparat format din două plăci conductoare (armături) separate printr-un izolan (dielectric) (fig. 1-17) și funcționează pe baza principiului arătat la paragraful 9 (fig. 1-16).

În practică, armăturile condensatorului sînt de multe ori executate din cîte o fișie de staniol; ca izolan se folosește de obicei hîrtie impregnată cu ulei. Ansamblul lor este împăturit, pentru a ocupa un spațiu cît mai mic și apoi este închis într-o cutie metalică prevăzută cu borne de ieșire.

Legînd un condensator la o sursă de curent continuu* (fig. 1-18), armăturile condensatorului se încarcă fiecare cu cantitatea de electricitate Q (pozitivă pe o armătură și negativă pe cealaltă). Prin circuit trece un curent

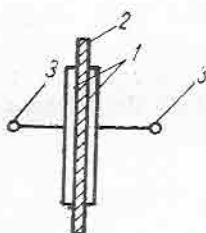


Fig. 1-17. Condensator electric:

- 1 — armături;
- 2 — dielectric;
- 3 — borne.

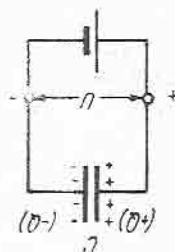


Fig. 1-18. Încărcarea unui condensator electric.

electric numai atît timp cît durează încărcarea armăturilor. După încărcarea acestora, deși condensatorul rămîne legat la sursă, prin circuit nu mai trece nici un curent.

Dezlegîndu-l de la sursă, condensatorul rămîne încărcat. Dacă se leagă bornele printr-un conductor, condensatorul se descarcă; prin conductor trece un curent electric format de deplasarea sarcinilor negative de pe armătura negativă spre armătura pozitivă, unde neutralizează sarcinile pozitive.

Între tensiunea U de la bornele armăturilor și sarcina Q de pe armături există relația:

$$Q = CU \quad (1.9)$$

în care C este o mărime fizică numită *capacitatea electrică*** a condensatorului și se măsoară în coulomb pe volt, unitate numită *farad* (în sistemul

* Sursele de curent continuu sînt analizate în capitolul II.

** Să nu se confunde cu capacitatea pilelor și a acumulatorilor.

SI). Capacitatea condensatorului depinde numai de dimensiunile armăturilor, de distanța dintre ele și de natura dielectricului. Capacitatea unui condensator plan (format de două armături plane paralele, între care dielectricul are o grosime constantă) se calculează cu ajutorul relației:

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \quad (1.10)$$

în care (în sistemul SI):

- C este capacitatea, în F (farazi);
- ε — permitivitatea dielectricului;
- S — suprafața uneia dintre armături în m^2 ;
- d — distanța dintre armături (grosimea dielectricului), în m .

12. LEGAREA CONDENSATOARELOR ELECTRICE

Condensatoarele electrice pot fi legate în serie, în derivație sau mixt, alcătuind baterii de condensatoare.

Condensatoare în serie (fig. 1-19). Capacitatea echivalentă C a mai multor condensatoare C_1, C_2, \dots, C_n legate în serie este dată de relația:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (1.11)$$

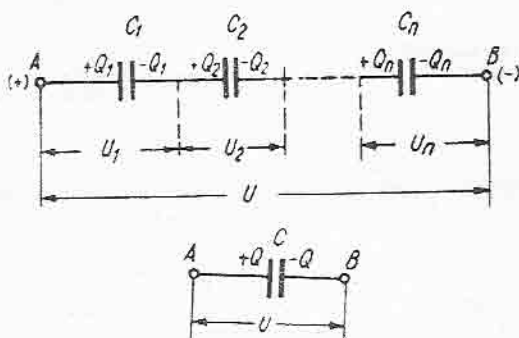


Fig. 1-19. Condensatoare legate în serie

Legarea condensatoarelor în serie se folosește pentru obținerea unor tensiuni mari de exemplu, la instalațiile de înaltă tensiune. La fabrica Electrotipere — Craiova și Institutul de cercetări și proiectări electrotehnice — București există asemenea instalații proiectate în țara noastră și realizate în cea mai mare parte cu materiale de la noi.

Relația 1-11 se deduce plecând de la relația dintre diferențele de potențial (tensiunile electrice):

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (a)$$

Se observă apoi că la legarea în serie a condensatoarelor

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q. \quad (b)$$

Deoarece:

$$U = \frac{Q}{C}$$

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1}; U_2 = \frac{Q_2}{C_2}; \dots; U_n = \frac{Q_n}{C_n}, \quad (c)$$

rezultă:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}. \quad (d)$$

Din relațiile (b) și (d) rezultă relația (1.11).

Condensatoare în derivație (fig. 1-20). Capacitatea echivalentă C a unei baterii formate din condensatoarele C_1, C_2, \dots, C_n , legate în derivație, se calculează cu ajutorul relației:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (1.12)$$

sau:

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_i. \quad (1.13)$$

Legarea în derivație a condensatoarelor se folosește cînd este necesară mărirea capacității.

În cazul condensatoarelor legate în derivație, se observă că sarcina electrică a bateriei este:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n. \quad (a)$$

Cum:

$$Q = CU; Q_1 = C_1 U_1; Q_2 = C_2 U_2; \dots; Q_n = C_n U_n \quad (b)$$

iar:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (c)$$

rezultă ușor relația (1.13).

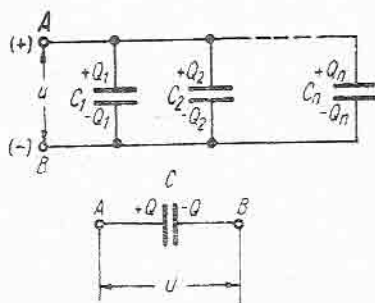


Fig. 1-20. Condensatoare legate în derivație.

Condensatoarele pot fi legate și mixt, adică în combinație de legături serie și derivație obținându-se mărirea atât a tensiunii cât și a capacității. În acest caz, capacitatea echivalentă a bateriei se determină din aproape în aproape.

13. STRĂPUNGerea DIELECTRICULUI. RIGIDITATE DIELECTRICĂ

Dacă diferența de potențial aplicată la bornele unui condensator crește mereu, se produce la un moment dat o străpungere a dielectricului (trecerea bruscă a sarcinilor electrice de pe o armătură pe cealaltă, prin dielectric), în urma căreia dielectricul se deteriorează de obicei. Străpungerea dielectricului depinde nu numai de valoarea diferenței de potențial, dar și de grosimea dielectricului. Cu cât grosimea dielectricului este mai mică, cu atât el poate fi străpuns la o diferență de potențial mai redusă. Valoarea cea mai mică a raportului dintre diferența de potențial și grosimea la care poate fi străpuns dielectricul se numește *rigiditatea dielectrică*. Altfel spus, rigiditatea dielectrică este valoarea minimă a cîmpului electric la care poate fi străpuns un dielectric avînd grosimea egală cu unitatea.

Dacă se măsoară diferența de potențial în volți și grosimea dielectricului în metri, rigiditatea dielectrică se va măsura în volți pe metru (V/m). În practică, este mai comod însă să se măsoare în mii de volți pe centimetru (kV/cm). În tabela 1-2 se dă valoarea rigidității dielectrice pentru unele materiale.

Tabela 1-2

Rigiditatea dielectrică a citorva materiale

Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm	Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm
Aer	32	Sticlă	70—300
Petrol	65	Hirtie impregnată	400—1000
Hirtie	40—100	Mică	600—750

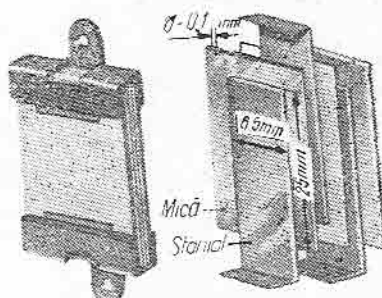
14. CONDENSATOARE INDUSTRIALE ȘI FABRICAREA LOR

Condensatoarele își găsesc întrebuințare în instalațiile de telefonie, telegrafie, radio, televiziune, pentru ameliorarea factorului de putere în cazul rețelelor de curent alternativ (după cum se va explica la capitolele VII și XX) etc.

Din punct de vedere constructiv, condensatoarele sînt de mai multe tipuri, în funcție de materialele folosite, de formă ș.a. De multe ori, dielectricul este realizat din hîrtie parafinată sau din foiță de mică.

În figura 1-21 se arată aspectul unui condensator cu armături din staniol și dielectric din mică, avînd o capacitate de 200 pF (picofarazi)*.

Fig. 1-21. Condensator cu armături din staniol și dielectric din mică.



În figura 1-22 este reprezentat un condensator cu armături din staniol, dar cu dielectric din hîrtie parafinată, avînd o capacitate de 2 μ F (microfarazi)**.

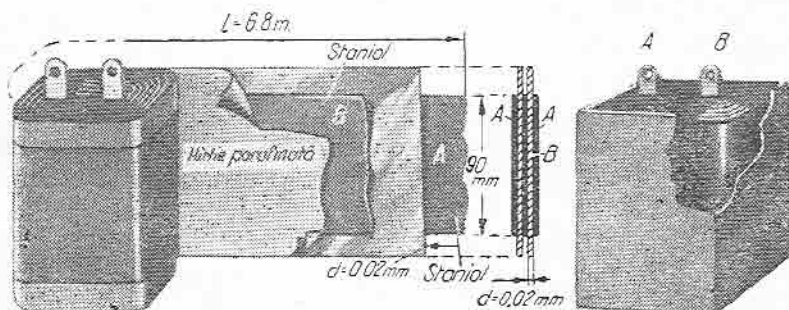


Fig. 1-22. Condensator cu armături din staniol și dielectric din hîrtie parafinată.

Figura 1-23 reprezintă un condensator cu capacitate variabilă, constituit dintr-o serie de plăci metalice mobile, care prin rotire pătrund între alte plăci tot metalice, dar fixe. Dielectricul acestui condensator este aerul. Plăcile constituie armăturile și sînt fabricate din aluminiu sau din cupru. Pe măsură ce plăcile mobile se introduc între plăcile fixe, capacitatea crește, deoarece se mărește suprafața armăturilor care se găsesc față în față.

* 1 pF = 10^{-12} F.

** 1 μ F = 10^{-6} F.

În țara noastră se fabrică diverse tipuri de condensatoare, și anume : de 150 V și $0,5-5\mu F$ cu armături din aluminiu și dielectric din hîrtie parafinată, pentru instalațiile telefonice ; de 1 000 V cu capacități de la cîteva

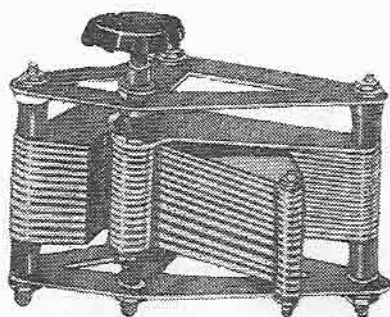


Fig. 1-23. Condensator cu capacitate variabilă.

sute pînă la cîteva mii de picofarazi, tot cu armături din aluminiu și dielectric din hîrtie parafinată, pentru instalațiile deradio, de 380 V de $3 \times 110 \mu F$ în ulei, pentru ameliorarea factorului de putere în rețelele de curent alternativ trifazat* și altele.

* Circuitele de curent alternativ trifazat sînt studiate în capitolul VIII.

CAPITOLUL II

CIRCUITE DE CURENT CONTINUU

1. CURENTUL ELECTRIC

După cum se știe, într-un conductor există electroni liberi în mișcare dezordonată. În mod normal, în orice moment numărul de electroni (cantitatea de electricitate) care trec printr-o secțiune transversală a conductorului într-un sens este egal cu numărul de electroni care trec în sens contrar. Cu alte cuvinte, cantitatea de electricitate care trece printr-o secțiune a conductorului este în medie egală cu zero.

Dacă, prin intermediul unei cauze oarecare din afară, se imprimă sarcinilor electrice o deplasare într-un sens printr-o secțiune a conductorului va trece o anumită cantitate de electricitate sau prin conductor va lua naștere un *curent electric*. Curentul electric este caracterizat prin *intensitatea* și prin *sensul* său.

Intensitatea curentului electric sau, pe scurt, *curentul electric* I este cantitatea de electricitate care trece printr-o secțiune transversală a conductorului în unitatea de timp, adică

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (2.1)$$

în care Q este cantitatea de electricitate iar t timpul. În sistemul SI, se măsoară I în amperi (A), Q în coulombi (C), iar t — în secunde (s).

Sensul de circulație al curentului sau, pe scurt, *sensul curentului*, este ales, în mod convențional, opus sensului în care se deplasează electronii prin conductor; în consecință, în circuitul exterior al unei surse de energie se consideră că sensul curentului este *de la polul pozitiv spre polul negativ al sursei*.

Curentul electric poate fi *continuu* (cînd are mereu același sens), sau *alternativ* (cînd își schimbă periodic sensul de circulație).

Curentul electric se măsoară în practică cu ajutorul aparatului numit *ampermetru*.

Densitatea de curent δ este raportul dintre curentul I și secțiunea s a conductorului prin care trece curentul.

$$\delta = \frac{I}{s}. \quad (2.2)$$

În sistemul SI, densitatea de curent se măsoară în A/m². În mod curent ea se măsoară însă în A/mm².

Densitatea de curent nu se poate măsura cu aparate, ea se determină prin calcul, folosind relația (2.2)

2. FORȚA (TENSIUNEA) ELECTROMOTOARE

Forța sau tensiunea electromotoare este mărimea fizică capabilă să producă și să mențină un curent electric într-un circuit închis, creînd o diferență de potențial electric între două puncte oarecare ale circuitului.

Forța electromotoare este produsă de o sursă sau generator de energie electrică, care poate fi o pilă electrică, un acumulator, o mașină electrică rotativă ș.a. Acestea se reprezintă simbolic, în curent continuu, printr-o linie lungă și subțire (polul pozitiv) și o linie scurtă și groasă (polul negativ). Forța electromotoare se notează de obicei cu litera E .

În sistemul SI forța electromotoare se măsoară în volți (V).

3. REZISTENȚA ELECTRICĂ

Dacă la bornele unei surse de energie electrică se leagă un conductor formînd astfel un *circuit electric închis*, prin întregul circuit, deci și prin conductor, va trece un curent mai mare sau mai mic, după cum conductorul se opune mai puțin sau mai mult trecerii curentului. Această proprietate a conductoarelor de a se opune mai mult sau mai puțin la trecerea curentului electric este caracterizată prin mărimea denumită *rezistența electrică a conductorului*.

Rezistența electrică R a unui conductor de lungime l cu secțiunea constantă s , se calculează folosind relația :

$$R = \rho \frac{l}{s}. \quad (2.3)$$

În care ρ este o mărime caracteristică a materialului din care este construit conductorul, denumită *rezistivitate* (tabela 2-1).

Tabela 2-1

Valoarea rezistivității și a coeficienților de variație a rezistivității
cu temperatura pentru diferite materiale uzuale, în 20°C

Denumirea materialului	ρ_{20} $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	α_{20} grd^{-1}
Aluminiă	0,029	0,0040
Argint	0,0165	0,0036
Cupru	0,0175	0,00393
Constantan	0,4...0,51	0,000005
Crom-nichel	1	0,0003
Manganină	0,042	0,00001
Nichelină	0,4...0,44	0,00018...
Oțel	0,24...1,1	0,00021
Zinc	0,063	0,0052
		0,0037

În sistemul SI se măsoară: R — în ohmi (Ω); l — în metri (m); s — în metri pătrați (m^2); ρ — în $\frac{\text{ohm} \cdot \text{metru pătrat}}{\text{metru}} \left(\frac{\Omega m^2}{m} \right)$.

De obicei, în practică, secțiunile conductoarelor se dau în mm^2 ; unitatea rezistivității rezultă astfel în $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}$.

Rezistivitatea și, prin urmare, rezistența unui conductor variază cu temperatura. În general, rezistența unui conductor crește cu temperatura.

Rezistivitatea ρ_{t_2} la temperatura t_2 , în funcție de rezistivitatea ρ_{t_1} la temperatura t_1 , este dată de relația:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (2.4)$$

în care α este coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura (tabela 2-1).

Rezistența R_{t_2} la temperatura t_2 se determină printr-o relație asemănătoare:

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]. \quad (2.5)$$

În unele cazuri, cum este cărbunele și cum sînt anumiți electroliți, rezistența scade pe măsură ce temperatura crește (coeficientul α este negativ).

Inversul rezistenței unui conductor se numește *conductanța* G a conductorului :

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{s}{l} = \gamma \frac{s}{l}, \quad (2.6)$$

în care $\gamma = \frac{1}{\rho}$ este *conductivitatea* materialului din care este făcut conductorul. În sistemul SI conductanța se măsoară în *siemens* (S).

Aplicație. Să se calculeze rezistența unui conductor de cupru cu o secțiune de 16 mm² al unei linii electrice lungi de 250 m.

Rezolvare. Se folosește formula (2.3) în care $l = 2 \times 250 = 500$ m; $s = 16$ mm²;

$$\rho = 0,0175 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}.$$

Deci :

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0,0175 \frac{500}{16} = 0,548 \Omega.$$

4. LEGEA LUI OHM

Curentul I care trece printr-un circuit închis format dintr-o sursă de energie electrică, avînd o forță electromotoare E și o rezistență interioară r , și dintr-o rezistență R legată la bornele a și b ale sursei (fig. 2-1)* se calculează cu ajutorul relației :

$$I = \frac{E}{R + r}. \quad (2.7)$$

În această relație, în sistemul SI se măsoară : I — în A ; E — în V ; iar R și r — în Ω .

Curentul electric I care trece printr-o rezistență R la capetele căreia se aplică o tensiune electrică (o diferență de potențial) U (fig. 2-2) se calculează folosind relația :

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.8)$$

în care, în sistemul SI se măsoară : I — în A ; U — în V ; R — în Ω .

* Acest circuit este denumit circuit simplu.

Produsul RI este căderea de tensiune produsă de trecerea curentului I prin rezistența R . Căderea de tensiune într-o rezistență este egală cu tensiunea aplicată la capetele (bornele) ei :

$$U = RI. \quad (2.9)$$

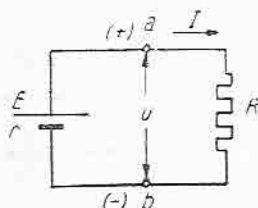


Fig. 2-1. Circuit electric simplu.

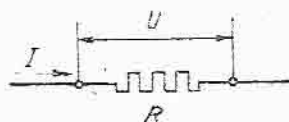


Fig. 2-2. Căderea de tensiune într-o rezistență.

Aplicație. Un acumulator* electric avînd o forță electromotoare $E=2$ V și o rezistență interioară $r=0,15$ Ω alimentează cu energie electrică un circuit a cărui rezistență este $R=1,1$ Ω . Să se determine curentul care trece prin circuit și tensiunea la bornele circuitului.

Rezolvare. Curentul care trece prin circuit este :

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{2}{1,1+0,15} = 1,6 \text{ A.}$$

Tensiunea la bornele circuitului, aceeași cu tensiunea la bornele acumulatorului, se poate calcula în două moduri :

$$a) U = RI = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ V;}$$

$$b) U = E - rI = 2 - 0,15 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ V.}$$

5. LEGILE LUI KIRCHHOFF

De multe ori, circuitele electrice sînt mai complicate, conținînd una sau mai multe surse de energie electrică și mai multe rezistențe, legate în diferite moduri, alcătuiind *rețele electrice*. Punctele în care se întîlnesc cel puțin trei căi de curent (rezistențe) se numesc *noduri* ale rețelei. Căile de curent între diferitele noduri se numesc *laturile* rețelei. Mărimile care intervin într-o rețea electrică sînt : forțele electromotoare, rezistențele diferitelor laturi și curenții prin aceste laturi.

* Acumulatorul electric este un aparat care poate înmagazina și apoi reda energie electrică. Acumulatorii sînt descriși la capitolul III.

Legea I. Suma curenților care intră într-un nod este egală cu suma curenților care ies din acel nod. De exemplu, pentru nodul A (fig. 2-4) se poate scrie :

$$I_1 = I_2 + I. \quad (2.10)$$

Legea II. Pe orice circuit închis al unei rețele electrice suma forțelor electromotoare este egală cu suma căderilor de tensiune.

$$\sum E = \sum RI \quad (2.11)$$

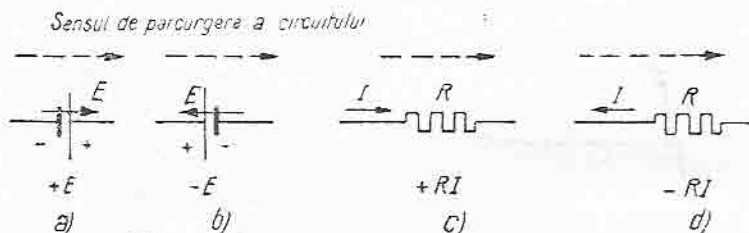


Fig. 2-3. Convenția de semne folosită la aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff :

a — forță electromotoare pozitivă ; b — forță electromotoare negativă ;
c — cădere de tensiune pozitivă ; d — cădere de tensiune negativă.

Pentru a aplica această lege se alege un sens oarecare de parcurgere a circuitului și se respectă următoarea convenție :

— se consideră pozitive forțele electromotoare al căror sens, conform polarității lor (de la — la +), este în sensul parcurgerii circuitului (fig. 2-3, a)* ;

— se consideră pozitive căderile de tensiune produse de curenții care trec prin rezistențe în același sens cu sensul de parcurgere al circuitului (fig. 2-3, c) ;

— în cazurile contrare, forțele electromotoare, respectiv căderile de tensiune, se consideră negative (fig. 2-3, b și 2-3, d). De exemplu, pentru circuitul ABCD din figura 2-4, parcurgându-l în sensul ABCDA (arătat de săgeata punctată) se poate scrie :

$$-E_2 + E_1 = R_1 I_1 + R_2 I_2.$$

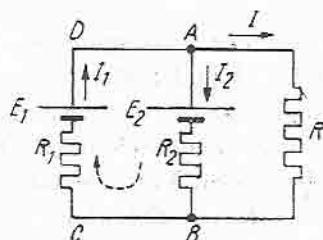


Fig. 2-4. Rețea electrică.

* Pentru o ușoară memorare se poate considera că o forță electromotoare este pozitivă cind săgeata sensului de parcurs (ales arbitrar) iese din polul pozitiv al sursei.

Legile lui Kirchhoff servesc la calcularea rețelelor electrice, și anume, cunoscându-se o parte din mărimile care intervin într-o rețea, ele permit să se determine celelalte mărimi necunoscute. Pentru aceasta, numărul necunoscutelor trebuie să nu depășească numărul ecuațiilor independente care pot fi scrise cu legile lui Kirchhoff.

Notându-se cu n numărul de noduri și cu l numărul de laturi dintr-o rețea, se pot scrie:

— cu legea I: $n - 1$ ecuații independente (scrise pentru nodurile distincte);

— cu legea a II-a: $l - n + 1$ ecuații independente (scrise pentru circuite închise distincte).

În total se pot deci scrie l ecuații distincte și se pot determina l necunoscute.

În cazul când nu se cunosc curenții, deci nici sensurile lor, se alege la început sensuri arbitrare; după rezolvarea sistemului de ecuații, dacă pentru vreunul din curenți se obține o valoare negativă, sensul real al lui va fi contrar celui ales inițial.

6. LEGAREA REZISTENȚELOR

Rezistențele electrice pot fi legate (conectate) în serie, în derivație (paralel) și mixt.

a) *Rezistențe în serie* (fig. 2-5). Căderea de tensiune totală în cele n rezistențe legate în serie este egală cu suma căderilor de tensiune din fiecare rezistență (legea a II-a a lui Kirchhoff), deci:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

sau:

$$RI = R_1 I + R_2 I + \dots + R_n I.$$

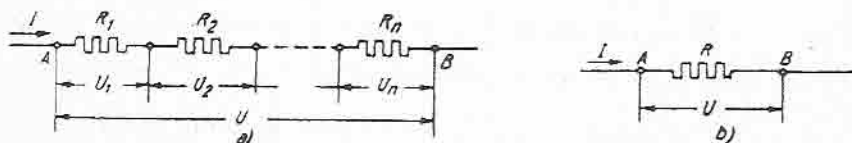


Fig. 2-5. Legarea în serie a rezistențelor:

a — rezistențe legate în serie; b — rezistența echivalentă.

Cum curentul I este același în toate rezistențele legate în serie, rezultă că rezistența echivalentă R a mai multor rezistențe R_1, R_2, \dots, R legate în serie, este egală cu suma acestor rezistențe:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2.12)$$

$$\text{sau: } R = \sum_{i=1}^{i=n} R_i. \quad (2.13)$$

Cînd cele n rezistențe sînt egale cu R_1 , rezultă :

$$R = nR_1. \quad (2.14)$$

b) *Rezistențe în derivație (în paralel)* (fig. 2-6). Curentul total care trece prin cele n rezistențe legate în paralel este egal cu suma curenților care trec prin fiecare rezistență :

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

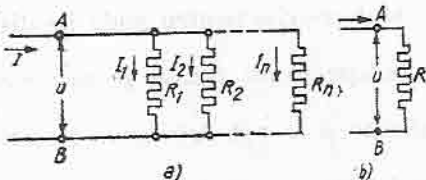


Fig. 2-6. Legarea în derivație a rezistențelor :

a - rezistențe legate în derivație ; b - rezistența echivalentă.

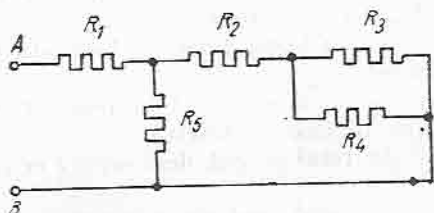


Fig. 2-7. Legarea mixtă a rezistențelor.

Cum tensiunea U la bornele rezistențelor este aceeași pentru toate rezistențele, se poate scrie :

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

de unde rezultă :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

sau :

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i}, \quad (2.15)$$

adică : *inversul rezistenței echivalente* $\frac{1}{R}$ *a mai multor rezistențe legate în paralel este egal cu suma inverselor acestor rezistențe.* Din această relație se deduce rezistența echivalentă R .

În cazul a două rezistențe legate în paralel, cu ajutorul relației (2.15) se deduce expresia rezistenței echivalente:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.16)$$

Cînd cele n rezistențe R_i sînt egale, rezultă

$$R = \frac{R_i}{n}. \quad (2.17)$$

c) *Rezistențe legate mixt.* Se pot face combinații între rezistențe legate în derivație și rezistențe legate în serie (fig. 2-7).

Rezistența echivalentă se calculează în acest caz din aproape în aproape.

Astfel, în cazul reprezentat în figura 2-7, R_3 și R_4 sînt în paralel. Se calculează rezistența lor echivalentă R_{34} , aceasta se adună cu R_2 , cu care este în serie, obținind R' ; aceasta este în paralel cu R_5 ; rezistența echivalentă R'' a acestora este în serie cu R_1 , cu care se adună. Rezultă deci:

$$R = R_1 + \frac{R_5 \left(R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \right)}{R_5 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}.$$

7. LEGEA JOULE-LENZ. ENERGIA ELECTRICĂ

Cînd printr-o rezistență R trece un curent I , rezistența se încălzește datorită transformării în căldură a energiei electrice W , dată de relația:

$$W = RI^2 t, \quad (2.18)$$

în care t este timpul cît a trecut curentul prin rezistență. În sistemul SI, W se măsoară în jouli (J), R — în ohmi (Ω), I — în amperi (A), t — în secunde (s). Această relație exprimă legea Joule—Lenz.

Pentru a obține energia W în calorii mici (cal), termenul al doilea din relația (2.18) trebuie înmulțit cu echivalentul în calorii al unui joule, adică 0,24. Deci:

$$Q = 0,24 RI^2 t. \quad (2.19)$$

Ținîndu-se seamă de legea lui Ohm, expresia (2.18) a energiei electrice absorbite de o rezistență electrică se mai poate scrie:

$$W = RI^2 t = UI t = \frac{U^2}{R} t. \quad (2.20)$$

Plecînd de la relația $W = UI t$ și ținîndu-se seama de relația (2.1), din care $Q = It$, se deduce:

$$W = UQ.$$

Energia electrică (totală) produsă (debitată) de o sursă cu o forță electromotoare E , într-un timp t , cînd prin sursă trece un curent I , este:

$$W = EI t. \quad (2.21)$$

Pe baza principiului conservării energiei (energia nu se pierde, nu se creează, ci se transformă), trebuie ca energia produsă de o sursă să fie egală

cu energia absorbită (consumată) de circuit. În cazul circuitului din figura 2-1, de exemplu, energia consumată de circuit este energia absorbită de rezistența R a circuitului legat la bornele sursei și de rezistența r din interiorul sursei. Se poate scrie :

$$W_{\text{produs}} = W_{\text{absorbită}} \quad (2.22)$$

$$EIt = RI^2t + rI^2t.$$

energie produsă de sursă	=	energie utilizată în circuitul exterior	+	energie pierdută, din punct de vedere util, în interiorul sursei
--------------------------------	---	---	---	--

În practică, energia electrică se măsoară cu ajutorul *contorului electric* și se exprimă în kilowatt-ore (kWh):

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J.} \quad (2.23)$$

8. PUTEREA ELECTRICĂ

Puterea electrică este energia electrică raportată la timpul în care ea este produsă sau absorbită :

$$P = \frac{W}{t}. \quad (2.24)$$

Puterea electrică absorbită de o rezistență R se poate calcula cu una din relațiile :

$$P = RI^2 = UI = \frac{U^2}{R}, \quad (2.25)$$

dedusă din expresiile (2.18), (2.20) și (2.24).

În mod analog, puterea electrică totală produsă de o sursă este :

$$P = EI \quad (2.26)$$

dedusă din relația (2.21).

Puterea electrică debitată de o sursă în circuitul legat la bornele ei și absorbită de acest circuit este :

$$P' = UI. \quad (2.27)$$

În sistemul SI puterea se măsoară în wați (W). În practică, pentru măsurarea puterii se folosește adesea un multiplu al acestei unități și anume kilowattul (kW):

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W.}$$

Aparatul folosit pentru a măsura puterea electrică se numește *watt-metru*.

Aplicație. O lampă electrică cu incandescență (bec electric) de 60 W și 220 V este aprinsă 4 ore pe zi. Care este energia consumată în timp de o lună (30 de zile)? Să se determine curentul care trece prin lampă și valoarea rezistenței electrice a lămpii aprinse.

Rezolvare. Puterea lămpii, conform enunțului problemei, este:

$$P=60 \text{ W}=0,06 \text{ kW.}$$

Această putere este absorbită într-o lună timp de:

$$t=4 \text{ h/zi} \times 30 \text{ zile}=120 \text{ h}$$

Energia consumat va fi:

$$W=Pt=0,06 \text{ kW} \cdot 120 \text{ h}=7,2 \text{ kWh,}$$

sau:

$$W=7,2 \text{ kWh} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}=25,92 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

Curentul care trece prin lampă se deduce din una din relațiile (2.25):

$$I=\frac{P}{U}=\frac{60 \text{ W}}{220 \text{ V}}=0,272 \text{ A.}$$

Rezistența electrică a lămpii este [relația (2.25)]:

$$R=\frac{U^2}{P}=\frac{P}{I^2}=\frac{U}{I};$$

$$R=\frac{220^2}{60}=\frac{60}{0,272^2}=\frac{220}{0,272}=806,6 \Omega.$$

Observație. Lampa are această rezistență electrică numai la incandescență. În stare rece, la lămpile cu filament metalic, rezistența filamentului este mult mai mică (de circa 10 ori).

CAPITOLUL III

PILE. ACUMULATOARE

1. CURENTUL PRIN ELECTROLIȚI. ELECTROLIZA

Unele lichide cum sînt acizii, bazele, soluțiile sărurilor, sărurile topite, conduc curentul electric. Trecerea curentului prin aceste lichide este însoțită de producerea unor fenomene chimice. Aceste corpuri se numesc *conductoare de clasa a doua* sau *electroliți*. Curentul este trecut prin electroliți cu ajutorul a două piese metalice scufundate în electrolit și denumite *electrozi*. Electrocul legat la polul pozitiv al sursei se numește *anod*, iar cel legat la polul negativ *catod* (fig. 3-1).

La trecerea curentului, în jurul electrozilor apar produși chimici rezultați din descompunerea electrolitului.

Descompunerea unui electrolit cu ajutorul curentului electric se numește *electroliză*.

Electroliza are numeroase aplicații practice, printre care *galvanoslegia*, adică acoperirea obiectelor cu un strat subțire de metal pe cale electrolitică (nichelare, galvanizare etc.).

În practică, acolo unde există instalații de tracțiune electrică cu troleu,

în curent continuu, apar curenții de dispersie (vaga-bonzi) care, în loc să circule prin șine, circulă prin pămînt. Ei pot trece prin diferite piese metalice în contact cu pămîntul, cum sînt țevile de apă, de aer comprimat, mantaua de plumb a caburilor. La locurile de pătrundere și de ieșire a curentului în aceste piese metalice — în prezența umezelii — apar fenomene de electroliză, producîndu-se așa-numita *coroziune electrolitică*. Prin aceasta metalul se distruge, provocîndu-se uneori grave neajunsuri.

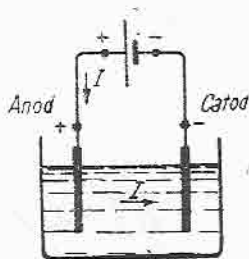


Fig. 3-1. Electroliza.

2. PILE ȘI ACUMULATOARE

După cum curentul electric produce efecte chimice, tot astfel fenomenele chimice pot produce energie electrică, energia chimică transformându-se în energie electrică. Acesta este cazul elementelor galvanice, care se împart în două categorii: *pile* și *acumulatoare*.

Pilele electrice sau elementele galvanice primare sînt construite din doi electrozi (cărbune și un metal, sau două metale diferite), separați prin unul sau doi electroliți.

Datorită fenomenelor electrochimice ce se produc la contactul dintre electrozi și electrolit, apare în pilă o forță electromotoare. Dacă circuitul exterior pilei este închis printr-o rezistență (legată la bornele pilei), electrolitul intră în reacție chimică cu electrozii și în circuit apare un curent electric. Astfel, pe seama energiei chimice, pila produce energie electrică pînă la uzarea electrozilor (la construcțiile obișnuite se uzează electrodul negativ).

În timpul trecerii curentului pila se poate *polariza*, adică, pe unul din electrozi apare un produs chimic rău conducător de electricitate, care face ca pila să nu mai funcționeze. Pentru a înlătura polarizarea pilei, în jurul electrodului respectiv se pune un *depolarizant*. Depolarizantul este o substanță care intră în reacție chimică cu produsul care cauzează polarizarea pilei.

Pilele la care electrolitul este lichid se numesc elemente sau *pile umede*. Dacă electrolitul este viscos ca o pastă, astfel încît nu curge, pilele se numesc *uscate*.

Cea mai utilizată pilă este pila *Leclanché*. Electrozii ei sînt: zincul — la catod (este chiar cutia elementului, de formă cilindrică), și cărbunele — la anod. Electrolitul este o soluție de țipirig (clorură de amoniu). Depolarizantul este bioxidul de mangan (piroluzită) amestecat cu grafit și așezat într-un săculeț împrejurul catodului (fig. 3-2).

Capacitatea constituie o mărime caracteristică la pile (și acumulatoare). Prin capacitatea unei pile (acumulator) se înțelege cantitatea de electricitate care trece prin circuitul exterior legat la bornele pilei (acumulatorului) pînă la epuizarea acesteia, curentul prin circuit și tensiunea la borne rămînînd între anumite limite prescrise. Capacitatea unei pile se măsoară în *amperore* (Ah), $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$.

Un element Leclanché uscat are următoarele caracteristici: forța electromotoare 1,45...1,5 V; rezistența interioară variază pe măsura uzurii pilei între 0,3 și 5 Ω , capacitatea (în funcție de tipul elementului) de la 0,25 ... 500 Ah.

În țara noastră se construiesc atît elemente galvanice umede (pile Leclanché pentru telecomunicații și laboratoare), cit și elemente uscate (pentru iluminat și telecomunicații).

Elementele galvanice uscate sînt standardizate prin STAS 808-71.

Acumulatorii electrice (sau elemente galvanice secundare) sînt aparate care, legate la o sursă de energie electrică, înmagazinează energie cu ajutorul unor reacții chimice. În această fază se spune că acumulatorul

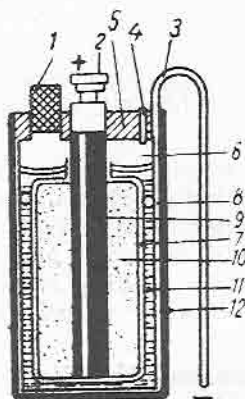


Fig. 3-2. Pila Leclanché (secțiune):

- 1 — dop; 2 — bornă pozitivă; 3 — bornă negativă; 4 — tub de aerisire; 5 — înveliș izolant exterior (carton); 6 — capac de carton; 7 — săculeț de pinză pentru depolarizant; 8 — perle de sticlă pentru centrare și izolare; 9 — electrod de carbon (anod); 10 — depolarizant; 11 — electrolit; 12 — electrod de zinc (catod).

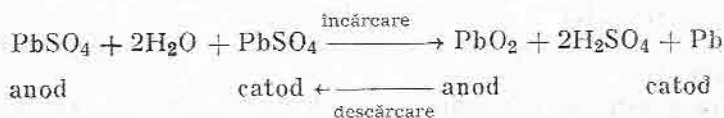
„se încarcă”. Legate apoi într-un circuit electric, acumulatorii produc energie electrică (aproape tot atîta cît s-a consumat la încărcarea lor) pe baza unor reacții chimice care se produc în sens invers decît la încărcare. Se spune că în această fază acumulatorul „se descarcă”.

Acumulatorii cele mai folosite sînt: acumulatorul cu plăci de plumb (acumulatorul acid) și acumulatorul cu fero-nichel (acumulatorul alcalin).

Acumulatorul acid (cu plăci de plumb) se compune dintr-un vas de ebonită sau sticlă, denumit bacul acumulatorului, care conține o soluție diluată de acid sulfuric (electrolitul), în care sînt scufundate cîteva plăci (fig. 3-3).

Plăcile acumulatorului, unele pozitive și altele negative, sînt formate dintr-un cadru (ramă, sac) de plumb încărcat cu diferite substanțe active (anumiți oxizi de plumb). Plăcile pozitive (anodii), identice între ele, sînt legate la borna pozitivă, iar cele negative (catodii), de asemenea identice, sînt legate la borna negativă.

Reacția chimică reversibilă care stă la baza funcționării acumulatorului este:



Deoarece la descărcare se produce apă, cu timpul densitatea acidului scade. Scăderea densității acidului este aproximativ proporțională cu descărcarea. De aceea, prin măsurarea densității acidului, se poate aprecia gradul

de descărcare al unui acumulator. Densitatea prescrisă este de 1,24...1,25 pentru acumulatorul încărcat și de 1,17...1,18 pentru acumulatorul descărcat.

În general încărcarea și descărcarea unui acumulator trebuie făcută cu respectarea strictă a indicațiilor date de fabrica constructoare.

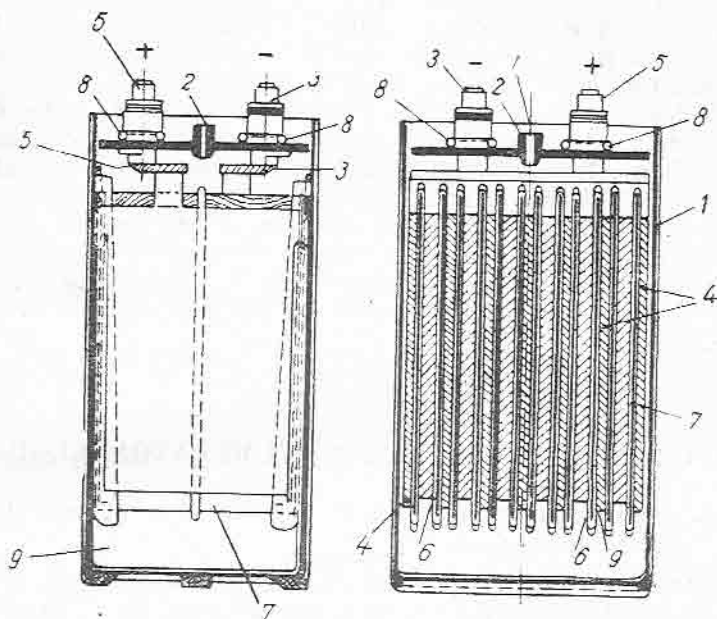


Fig. 3-3. Acumulatorul acid (secțiune):

1 — vas și capac; 2 — orificiul de umplere; 3 — bornă negativă și puntea de legătură a acestora cu plăcile negative; 4 — plăci negative; 5 — bornă pozitivă și puntea de legătură a acestora cu plăcile pozitive; 6 — plăci pozitive; 7 — separatoare între plăci; 8 — inel pentru fixarea capacului; 9 — spațiu pentru depunerea impurităților.

Pentru calcule practice, forța electromotoare a unui element de acumulator se consideră 2 V. Rezistența interioară r_i a unui acumulator este cu atât mai mică, cu cât capacitatea acumulatorului este mai mare: în calculele practice se poate lua $r_i = \frac{0.1 \dots 0.2}{C} \Omega$ unde C este capacitatea acumulatorului (în Ah) la regimul de descărcare de 3 ore.

Capacitatea unui acumulator depinde de regimul de descărcare. Cu cât descărcarea se face într-un timp mai scurt, deci cu un curent mai mare, capacitatea acumulatorului scade.

Pentru încărcarea unui acumulator se consumă o energie electrică W_i mai mare decât energia electrică W_d pe care o restituie acumulatorului la descărcare. Raportul:

$$\eta_W = \frac{W_d}{W_i} \quad (3.2)$$

se numește *randamentul energetic* al acumulatorului; în practică, el are o valoare de circa 0,7...0,8. O parte din acumuloarele cu plăci de plumb sînt standardizate prin STAS 443-52, 444-52, 445-52 și 446-52.

Acumulatorul alcalin cu fero-nichel sau cu nichel-cadmium este format dintr-un vas executat din tablă de oțel nichelată sau cadmiată. Electrolitul este o soluție de hidrat de potasiu (KOH) cu o densitate de 1,2 (24 Beaumé). Electrolitul nu ia parte la reacție și, independent de încărcarea sau descărcarea acumulatorului, el rămîne neschimbat.

În calculele practice, pentru tensiune se ia valoarea medie de 1,2 V.

Acumulatorul alcalin este mai ușor și mai rezistent decît acumulatorul cu plăci de plumb. El admite șocuri de curent, și poate fi descărcat complet și lăsat în această situație fără să se degradeze.

Randamentul energetic al acumulatorului alcalin este însă de numai circa 0,5 și în construcția sa necesită nichel care este un metal relativ scump.

În prezent, acumuloarele alcaline sînt din ce în ce mai mult întrebuintate în industrie, la iluminatul individual și la tracțiunea electrică cu electrocare.

3. LEGAREA PILELOR ȘI A ACUMULATOARELOR

Pilele și acumuloarele pot fi legate (grupate) în serie, derivație și mixt, alcătuiind o baterie. Notîndu-se cu :

e — forța electromotoare a unui acumulator (sau pilă), în V ;

r — rezistența interioară a unui acumulator (sau pilă), în Ω ;

q — capacitatea unui acumulator (sau pilă), în Ah ;

i — curentul printr-un acumulator (sau pilă), în A ;

E — forța electromotoare a bateriei formate, în V ;

r_t — rezistența interioară (totală) a bateriei, în Ω ;

Q — capacitatea bateriei, în Ah ;

I — curentul care trece prin circuitul exterior, legat la bornele bateriei, în A ;

R — rezistența circuitului exterior, în Ω ;

se poate scrie :

a) Pentru gruparea în serie a n elemente identice (fig. 3-4) :

$$\left. \begin{aligned} E &= ne ; r_t = nr ; Q = q ; \\ I &= i = \frac{E}{R + r_t} = \frac{ne}{R + nr} = \frac{e}{r + \frac{R}{n}} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Această grupare se folosește atunci cînd este necesar să se obțină o tensiune mai mare decît forța electromotoare a unui element.

b) Pentru gruparea în derivație a m elemente identice (fig. 3-5):

$$\left. \begin{aligned} E &= e; r_t = \frac{r}{m}; Q = mq; \\ I = mi &= \frac{E}{R + r_t} = \frac{e}{R + \frac{r}{m}}; i = \frac{e}{mR + r} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

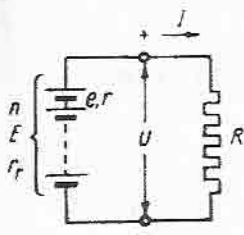


Fig. 3-4. Gruparea elementelor în serie.

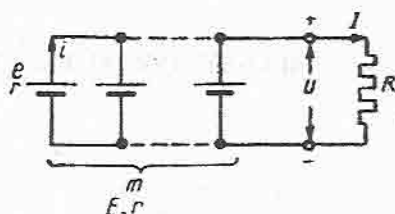


Fig. 3-5. Gruparea elementelor în derivație.

Acastă grupare se folosește atunci cînd este necesar să se obțină un curent mai mare decît cel pe care-l poate da un singur element, sau cînd rezistența interioară a unui element este prea mare.

c) Pentru gruparea mixtă a m grupe în derivație formate din cîte n elemente în serie (fig. 3-6):

$$\left. \begin{aligned} E &= ne; r_t = \frac{n}{m} r; Q = mq; \\ I = mi &= \frac{E}{R + r_t} = \frac{ne}{R + \frac{nr}{m}} = \frac{e}{\frac{r}{m} + \frac{R}{n}}; \\ i &= \frac{e}{r + \frac{m}{n} R} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

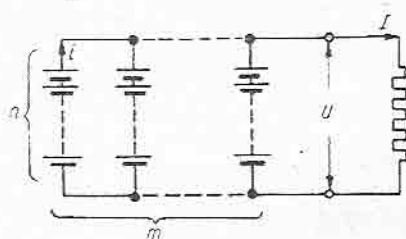


Fig. 3-6. Elemente grupate mixt.

În toate aceste cazuri, tensiunea la bornele bateriei se calculează folosind relația:

$$U = E - r_t \cdot I. \quad (3.6)$$

CAPITOLUL IV

MAGNETISM ȘI ELECTROMAGNETISM

1. MAGNEȚI NATURALI ȘI MAGNEȚI ARTIFICIALI. CÂMP MAGNETIC

În natură există minereuri care conțin fier și au proprietatea de a atrage bucăți mai mici, tot de fier. Proprietatea aceasta se numește *magnetism*, iar minereurile respective, *magneți naturali*. În afară de acești magneți naturali, există și magneți *artificiali*, fabricați, de obicei, din piese de oțel, după anumite procedee tehnologice.

Magneții artificiali au diverse forme: bară, potcoavă etc. S-a constatat că forțele exercitate de un magnet au o intensitate mult mai mare la extremitățile magnetului, care se numesc *poli magnetici*. Un magnet în formă de ac, suspendat în mijloc, are proprietatea de a se îndrepta cu aceeași extremitate în direcția aproximativă a polului nord geografic, spre un punct numit *polul nord magnetic* pământesc.

Pe această proprietate se bazează funcționarea *busolei*. Busola cuprinde de obicei o lamă magnetică, având o formă rombică, alungită, care se sprijină pe vârful unui ac vertical (fig. 4-1). Extremitatea care se îndreaptă cu aproximație spre polul nord geografic constituie *polul nord* al magnetului respectiv și se vopsește de obicei în negru. Cealaltă extremitate constituie *polul sud*. S-a constatat că *polii de același nume se resping, iar polii de nume diferite se atrag*.

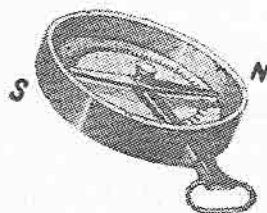


Fig. 4-1. Busolă.

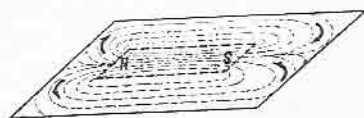


Fig. 4-2. Spectrul magnetic al unui magnet în formă de bară.

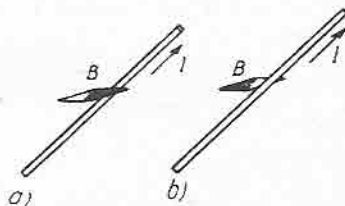
Ca și în cazul forțelor electrice din câmpul electric, oamenii de știință au căutat să explice cum se transmit forțele magnetice de atracție și de repulsie de la un corp la altul. Astfel, s-a putut dovedi că în jurul magneților se formează un *cîmp magnetic*, care reprezintă o formă aparte de existență a materiei, avînd proprietatea de a transmite cu o viteză foarte mare interacțiunile dintre magneți. Câmpul magnetic poate fi concretizat dacă deasupra unui magnet în formă de bară se așază o foaie de hîrtie pe care se presară pilitură de fier; se observă că pilitura se orientează după anumite direcții, ca în figura 4-2, constituind un *spectru magnetic*.

2. CÎMP MAGNETIC DATORIT CURENTULUI ELECTRIC. SPECTRE MAGNETICE

Dacă se așază un ac magnetic în apropierea unui conductor străbătut de un curent electric, se constată că acul magnetic este supus unei forțe care-l îndreaptă totdeauna într-o anumită poziție față de conductor.

De exemplu în cazul din figura 4-3, *a*, busola *B* fiind deasupra conductorului, polul nord se va îndrepta spre dreapta, iar în cazul din figura 4-3, *b*, busola *B* fiind sub conductor, polul nord se va îndrepta spre stînga.

Fig. 4-3. Poziția acului magnetic față de curentul electric.



Dacă pe o foaie de hîrtie străpunsă de o spiră parcursă de curent electric (fig. 4-4) se presară pilitură de fier, se observă că pilitura se așază ca și cum spirala ar fi un magnet, dar ceva mai mic. Dacă în loc de o singură spiră sînt multe spire paralele ale aceleiași bobine (solenoid) parcurse de curent, ca în figura 4-5, asemănarea între spectrul magnetic al bobinei și acela al magnetului din figura 4-2 este mai accentuată.

Din această constatare se poate trage concluzia că și curentul electric creează în jurul lui un cîmp magnetic. Faptul că atît magneții, cît și curenții electrice creează în jurul lor cîmpuri magnetice, arată că între magneți și curenți trebuie să existe o anumită legătură. Această legătură reiese din însăși explicația științifică a proprietăților magnetice, care este următoarea.

Se știe că atomii unui corp sînt constituiți dintr-un nucleu încărcat cu o sarcină pozitivă, în jurul căruia se rotesc electronii cu mare viteză pe anumite orbite. Fiecare electron, în circulația lui în jurul nucleului, constituie un mic curent electric în jurul acestui nucleu, după cum electronii care circulă într-un conductor constituie un curent electric în acel conductor.

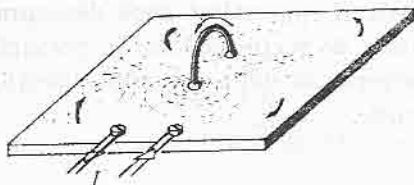


Fig. 4-4. Spectrul magnetic produs de o spirală parcursă de curent.

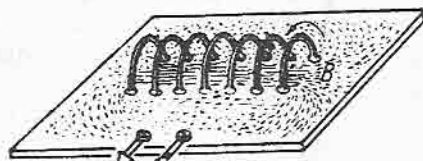


Fig. 4-5. Spectrul magnetic produs de o bobină (solenoid) parcursă de curent.

Fiecare din aceste circuite se comportă ca un mic magnet, iar săgețile respective (fig. 4-6) indică prin vîrfurile lor polul nord, și prin cealaltă extremitate, polul sud respectiv.

La un material care nu are proprietăți magnetice, planele circuitelor sînt așezate la întîmplare (fig. 4-6), efectul lor magnetic total anulîndu-se. Într-un magnet, atomii sînt orientați, astfel că micile circuite electrice se găsesc în plane paralele, cu polii de același nume îndreptați în același sens (fig. 4-7), așa încît efectul lor magnetic se adună. Aceasta explică și faptul că dacă se divide un magnet în mai multe părți, fiecare parte constituie tot un magnet.

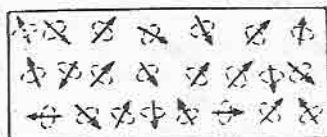


Fig. 4-6. Orientarea atomilor la un material nemagnetic.

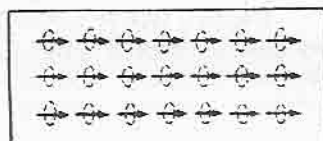


Fig. 4-7. Orientarea atomilor la un magnet.

Din cele expuse rezultă că un cîmp magnetic se datorează totdeauna *deplasării unor sarcini electrice* (electroni) fie că este produs de un curent electric (care corespunde deplasării electronilor de-a lungul unui circuit electric), fie că este produs de un magnet (unde se produce deplasarea electronilor în interiorul atomilor, după cum s-a arătat).

Dacă o piesă de oțel magnetizată este lovită puternic, ea se poate demagnetiza, deoarece circuitele electrice constituite din electronii atomici, care erau la început așezate ordonat, revin în poziții dezordonate din cauza loviturii.

3. INDUCȚIA MAGNETICĂ. LINII DE FORȚĂ MAGNETICĂ

Cîmpul magnetic se poate caracteriza în fiecare punct al său printr-o mărime vectorială, numită *inducție magnetică*, și care se notează prin simbolul \vec{B} .

Direcția inducției magnetice este direcția pe care o capătă un ac magnetic așezat în cîmpul magnetic respectiv. Sensul inducției magnetice se consideră cel indicat de polul nord al acului magnetic, după cum se arată în figura 4-8. Curbele față de care vectorul \vec{B} rămîne tangent se numesc *linii de forță magnetică* ale cîmpului magnetic.

Sensul unei linii de forță este considerat același ca și sensul vectorului B , în diferite puncte ale liniei.

Fig. 4-8. Direcția și sensul vectorului \vec{B} .



Sensul liniilor de forță magnetică se poate determina cu ajutorul *reguli burghiului*, după cum se arată în exemplele care urmează.

În cazul unui conductor rectiliniu (fig. 4-9) foarte lung c , parcurs de un curent electric I , liniile de forță se găsesc în plane perpendiculare pe direcția curentului și sînt cercuri concentrice cu centrul în punctul unde conductorul străpunge planul. Dacă acest plan este materializat printr-o foaie de hîrtie pe care se presară pilitură de fier, aceasta se așază după direcția liniilor de forță, al căror sens se găsește astfel folosind *regula burghiului* (fig. 4-10): sensul liniilor de forță magnetică este sensul în care trebuie rotit un burghiu drept pentru ca acesta să înainteze în direcția și sensul curentului. O dată cunoscut sensul liniilor de forță, se poate determina și sensul vectorului B al inducției magnetice.

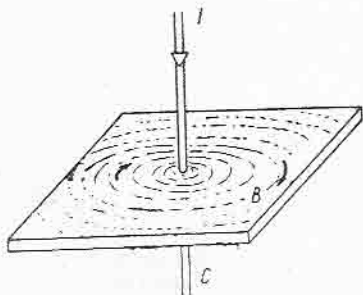


Fig. 4-9. Spectrul magnetic al unui curent rectiliniu foarte lung.

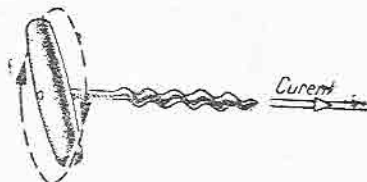


Fig. 4-10. Regula burghiului cînd curentul este rectiliniu.

De asemenea, se poate preciza sensul liniilor de forță și cu ajutorul acului magnetic în cazul unui magnet și al unui solenoid, așa cum se arată în figurile 4-11 și 4-12 unde, pentru simplificare, s-au trasat numai cîte patru linii de forță în fiecare caz.

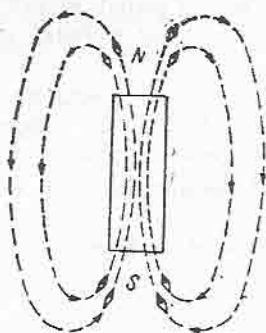


Fig. 4-11. Sensul liniilor de forță magnetică la un magnet în formă de bară.

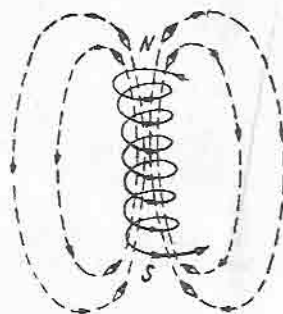


Fig. 4-12. Sensul liniilor de forță magnetică la un solenoid parcurs de curent.

Extremitatea unde liniile de forță magnetică ies din bara magnetică sau din solenoid constituie polul nord, iar extremitatea unde liniile de forță magnetică *intră* în bara magnetică sau în solenoid constituie polul sud. Pentru a se afla care este polul nord sau sud în cazul unui solenoid deci sensul liniilor de forță în interiorul solenoidului parcurs de curent, este suficient să se cunoască sensul curentului și apoi să se aplice regula burghiului.

În cazul solenoidului sensul liniilor de forță se determină cu regula burghiului astfel: *un burghiu care se rotește în sensul curentului se deplasează în sensul liniilor de forță magnetică* (fig. 4-13). În figura 4-14 s-au trasat

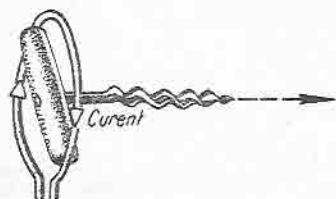


Fig. 4-13. Regula burghiului cînd curentul este circular.

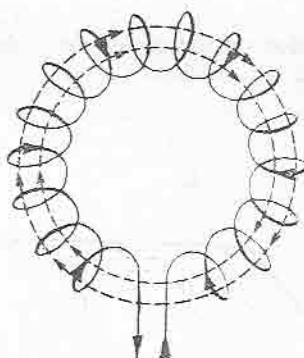


Fig. 4-14. Sensul liniilor de forță magnetică în cazul unui solenoid inelar (în formă de tor) parcurs de curent.

liniile de forță magnetică produse de un solenoid în formă de tor (inel) parcurs de un curent. Sensul lor se poate afla folosind regula burghiului, ca și în cazul din figura 4-12.

Valoarea inducției magnetice este proporțională cu *desimea* liniilor de forță. În felul acesta, liniile de forță pot da o imagine și asupra felului cum variază valoarea inducției magnetice în diverse locuri. Inducția magnetică se măsoară cu unitatea de măsură numită *tesla*, cu simbolul T.

4. FLUX DE INDUCȚIE MAGNETICĂ

În figura 4-15 s-a reprezentat un magnet în formă de bară. S-au trasat câteva linii de forță în interiorul magnetului. Se observă că prin fața $ABCD$ liniile de forță magnetică intră în magnet, iar prin fața $A'B'C'D'$, liniile de forță magnetică ies din magnet. În consecință, fața $ABCD$ constituie polul sud, iar fața $A'B'C'D'$, polul nord al magnetului. Liniile de forță

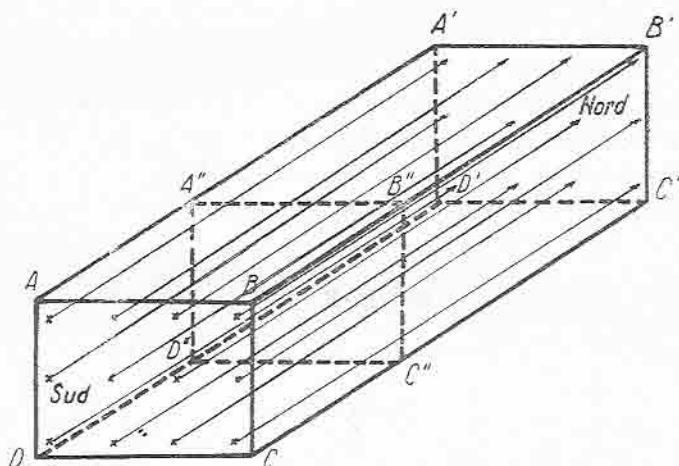


Fig. 4-15. Fluxul magnetic în interiorul unui magnet.

sînt perpendiculare pe fețele $ABCD$ și $A'B'C'D'$ precum și pe orice secțiune făcută prin magnet perpendicular pe axa sa (adică secțiunea dreaptă), cum este de exemplu secțiunea $A''B''C''D''$. Dacă intensitatea vectorului inducție magnetică în interiorul magnetului este B , iar suprafața secțiunii $A''B''C''D''$ (pe care vectorul B este perpendicular în orice punct), este S , atunci expresia :

$$\Phi = B \cdot S. \quad (4.1)$$

adică valoarea inducției magnetice multiplicată cu valoarea suprafeței pe care inducția magnetică este perpendiculară, se numește *flux de inducție magnetică* în raport cu suprafața S . Fluxul de inducție magnetică, sau pe scurt *fluxul magnetic*, se notează de obicei cu litera mare grecească Φ (se citește „fi”). Se întrebuințează de multe ori și expresia: „flux magnetic prin suprafața S ” deoarece liniile de forță respective trec prin suprafața S . Dacă suprafața S se măsoară în metri pătrați, iar inducția magnetică în tesla, rezultă pentru fluxul magnetic o unitate de măsură numită *weber* (Wb). Din relația (4.1) rezultă :

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (4.1)$$

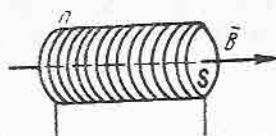


Fig. 4-16. Fluxul magnetic al unei bobine.

În figura 4-16 s-a considerat o bobină cu n spire, fiecare spiră avînd suprafața S . Dacă această bobină este străbătută în interiorul ei de liniile de forță ale unui cîmp de inducție magnetică B (în figură s-a reprezentat, pentru simplificare, numai linia din axul bobinei), fluxul magnetic raportat la o spiră este :

$$\Phi = B \cdot S, \quad (4.2)$$

iar fluxul magnetic total, pentru întreaga bobină de n spire este :

$$\Phi = n \cdot B \cdot S.$$

5. INDUCȚIA MAGNETICĂ ȘI INTENSITATEA CÎMPULUI MAGNETIC DATORITE CURENȚILOR ELECTRICI

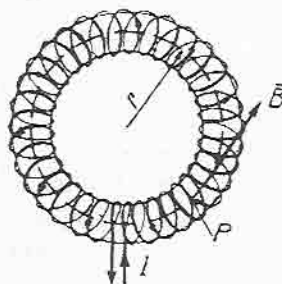
În aplicațiile practice este util să se cunoască inducția magnetică datorită curenților electrici, în cîteva cazuri care se întîlnesc mai frecvent.

Cazul bobinei inelare. În figura 4-17 se consideră o bobină inelară parcursă de curentul electric I avînd raza cercului mediu egală cu r . În orice punct al acestui cerc mediu care reprezintă și o linie de forță magnetică vectorul inducției

magnetice B este tangent la acest cerc. Pentru a afla sensul acestui vector se aplică regula burghiului; sensul vectorului inducției magnetice este sensul în care se deplasează burghiul atunci când este rotit în sensul curentului. Dacă se notează cu n numărul de spire și cu l lungimea cercului mediu ($2\pi r$), valoarea inducției magnetice este :

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} I. \quad (4.3)$$

Fig. 4-17. Inducția magnetică într-o bobină inelară.



În această relație intervine și factorul μ_0 , care poartă numele de *permeabilitatea magnetică a vidului*. În general, permeabilitatea magnetică a unui mediu oarecare se notează cu litera grecească μ (se citește «miu») și depinde de proprietățile magnetice ale acestui mediu. Când mediul este aerul, permeabilitatea magnetică se notează tot cu μ_0 , fiind practic egală cu permeabilitatea vidului. Valoarea acestei permeabilități este :

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Se numește *permeabilitate magnetică relativă* μ_r a unui mediu, raportul dintre permeabilitatea magnetică μ a mediului și aceea a vidului μ_0 , adică :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}. \quad (4.4)$$

Dacă se împarte valoarea inducției magnetice la valoarea permeabilității magnetice a mediului respectiv, se obține *intensitatea cîmpului magnetic*, care este tot o mărime vectorială, ce se notează de obicei cu \vec{H} .

În cazul bobinei inelare din figura 4-17, se poate scrie :

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{n}{l} I = n_s \cdot I \quad (4.5)$$

unde :

$$n_s = \frac{n}{l}$$

este numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei.

Direcția și sensul vectorului \vec{H} coincid cu direcția și sensul vectorului \vec{B} .
Cazul bobinei drepte. În figura 4-18 se consideră o bobină dreaptă de lungime l , cu n spire, și parcursă de curentul I . Într-un punct de pe axul bobinei, direcția vectorului inducție magnetică \vec{B} și intensitatea cîmpului \vec{H} coincid cu direcția axului bobinei. Sensul se găsește folosind regula burghiului, iar valorile sînt date de relațiile:

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} I = \mu_0 n_s I,$$

$$H = \frac{n}{l} I = n_s I.$$

Aceasta este cu atît mai exact, cu cît bobina este mai lungă în raport cu grosimea și cu cît punctul considerat este mai depărtat de extremitățile bobinei.

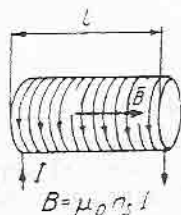


Fig. 4-18. Inducția magnetică într-o bobină dreaptă.

Dacă intensitatea curentului se măsoară în amperi, iar lungimea în metri, rezultă pentru H o unitate de măsură numită *amper pe metru* (A/m) sau *amper spiră pe metru* (Asp/m). Explicația denumirii acestei unități rezultă din ultima relație.

Valoarea intensității cîmpului magnetic este totdeauna proporțională cu intensitatea curentului care o produce, după cum rezultă și din relațiile arătate mai înainte.

6. FORȚE ELECTROMAGNETICE ȘI FORȚE ELECTRODINAMICE

Forța \vec{F} care se exercită asupra unui curent situat într-un cîmp magnetic se numește *forță electromagnetică*. Direcția acestei forțe este perpendiculară pe planul constituit de vectorul inducție magnetică \vec{B} și de direcția curentului I . Dacă direcția curentului este perpendiculară pe direcția liniilor de forță magnetică, forța electromagnetică este dată de formula:

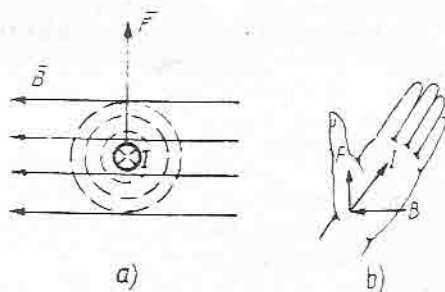
$$F = B \cdot I \cdot l. \quad (4.6)$$

Cînd B se măsoară în tesla, I în amperi și l în metri, valoarea forței F se obține în newtoni.

În figura 4-19, *a* se arată procedeul care trebuie aplicat pentru a se putea determina sensul acestei forțe. Se presupune că vectorul inducție magnetică \vec{B} este orizontal și dirijat de la dreapta la stînga ca în figură. Curentul I este perpendicular pe planul hîrtiei și se presupune că are sensul din față înspre spatele hîrtiei. Acest sens al curentului este indicat în figură printr-o cruce. Dacă sensul curentului ar fi fost invers, adică din spatele hîrtiei spre față, s-ar fi indicat dintr-un punct (Punctul ar reprezenta vîrfurile unei săgeți, iar crucea ar reprezenta coada săgeții). Forța \vec{F} fiind perpendiculară pe planul format de \vec{B} și I , va fi, în cazul dat, verticală. Rămîne să se determine dacă forța \vec{F} este dirijată în sus sau în jos. S-au punctat cercurile care reprezintă liniile de forță magnetică ale curentului.

Aceste linii au sensul orar, conform regulei burghiului. În partea inferioară a conductorului, liniile de forță ale cîmpului magnetic de inducție B , în care se găsește curentul, au același sens ca și liniile de forță ale cîmpului magnetic produs de curentul I ; efectul lor se adună, iar liniile de forță rezultante se îndesesc. În partea superioară a conductorului, dimpotrivă, ele se rareșc, deoarece liniile de forță ale cîmpului magnetic dat de curent au sens contrar față de liniile de forță magnetică ale cîmpului magnetic de inducție \vec{B} . Regula este următoarea: *Sensul forței electromagnetice \vec{F} este dinspre liniile mai dese înspre liniile mai rare, adică de jos în sus în cazul figurii.*

Fig. 4-19. Aflarea sensului forței electromagnetice.



Se mai poate afla sensul forței electromagnetice și cu ajutorul regulii mîinii stîngi (fig. 4-19, *b*): Se așază mîna stîngă astfel încît liniile de forță ale cîmpului magnetic B să intre în palmă, iar vîrfurile degetului arătător să se găsească în sensul curentului I ; ținînd degetul mare desfăcut, vîrfurile lui arată sensul forței \vec{F} .

Forțele electromagnetice intervin în funcționarea mașinilor electrice (cap. XIV—XVII).

Forța la care este supus un curent care se găsește într-un cîmp magnetic produs tot de un curent se numește *forță electrodinamică*.

În figura 4-20 se consideră două circuite situate în aer și parcurse de curenții I_1 și I_2 . Forța electrodinamică, care se exercită asupra fiecărui circuit este proporțională cu produsul intensităților celor doi curenți, adică :

$$F = k I_1 I_2. \quad (4.7)$$

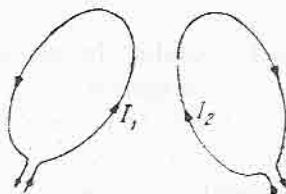


Fig. 4-20. Circuite electrice între care se exercită forțe electrodinamice.

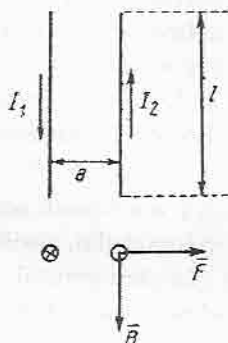


Fig. 4-21. Forțe electrodinamice între doi curenți paraleli.

În cazul din figură forța electrodinamică F tinde să apropie cele două circuite.

Mașinile electrice au bobinaje constituite din spire străbătute de curenți electrici. Din această cauză, dacă curenții sînt intensi, pot apărea forțe electrodinamice care să deformeze spirele și să deterioreze materialul. Mașinile electrice trebuie astfel calculate, încît să reziste la acțiunea forțelor electrodinamice.

Aplicația 4-1 (fig. 4-21). Două conductoare 1 și 2, rectilinii, paralele, de lungime $l=100$ cm, la distanța $a=10$ cm unul de altul, sînt parcurse de curenții $I_1=I_2=1\,000$ A cu sensurile din figură. Ce forțe se exercită între conductoare ?

Rezolvare. Inducția magnetică datorită curentului I_1 și produsă într-un punct oarecare al conductorului 2 este :

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot a}$$

Forța exercitată asupra conductorului 2 parcurs de curentul I_2 va fi :

$$F = B_1 \cdot l \cdot I_2 = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi \cdot a} I_1 \cdot I_2 = \frac{4 \cdot \pi}{10^7} \cdot 1 \cdot 1\,000 \cdot 1\,000 = 2 \text{ N.}$$

Aceeași forță se va exercita și asupra conductorului 1 parcurs de curentul I_1 . Forțele sînt de respingere.

7. MAGNETIZAREA ȘI DEMAGNETIZAREA OȚELULUI. HISTEREZIS

În figura 4-22, *a* se consideră o bobină de lungime l cu n spire, înfășurată în jurul unui miez de oțel. Dacă se lasă să treacă un curent electric I prin bobină, în interiorul bobinei apare o inducție magnetică :

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I, \quad (4.8)$$

în care :

μ_s este permeabilitatea magnetică a oțelului, iar

n_s — numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei, adică $n_s = n/l$.

Se știe că vectorul intensității cîmpului magnetic are valoarea :

$$H = n_s I. \quad (4.9)$$

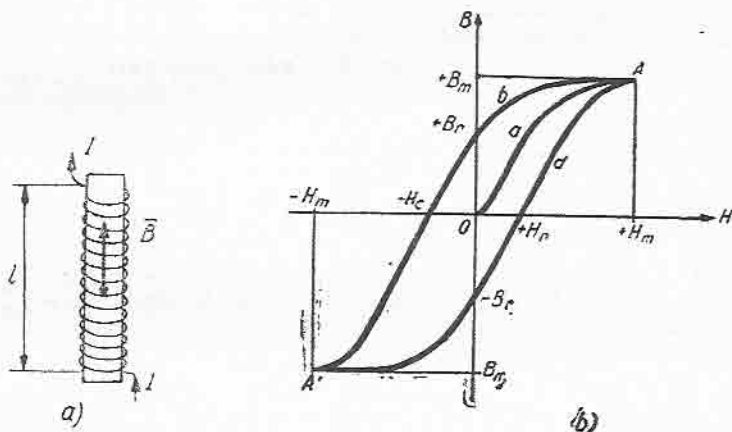


Fig. 4-22. Magnetizarea oțelului:

a — bobină cu miez de oțel ; *b* — ciclul de histerezis al oțelului.

Înlocuind în relația (4.8) se obține :

$$B = \mu H. \quad (4.10)$$

Datorită cîmpului magnetic produs de curentul care străbate bobina, atomii miezului de oțel se orientează așa cum s-a arătat în paragraful 2. În miezul de oțel apare o inducție magnetică mult mai mare decît dacă bobina ar fi goală, prin faptul că permeabilitatea magnetică a oțelului este mult mai mare decît aceea a aerului. Apariția în oțel a acestei inducții magnetice de valoare mare se constată experimental prin *magnetizarea oțelului* adică

oțelul devine un magnet. Cu cât inducția magnetică în oțel este mai mare, cu atât oțelul se magnetizează mai intens, adică devine un magnet mai puternic. Dacă se întrerupe curentul în bobină, se constată că miezul de oțel pierde proprietățile magnetice, se *demagnetizează*. În figura 4-22, *b* se arată cum variază inducția magnetică B în oțel în funcție de variația intensității cîmpului magnetic H (care este cauza inducției magnetice). Curba OaA arată această variație atunci cînd intensitatea cîmpului magnetic H crește de la zero la o anumită valoare maximă H_m . Această creștere a intensității cîmpului magnetic se obține prin creșterea curentului I pînă la valoarea la care se obține intensitatea cîmpului magnetic de valoare H_m . Dacă se observă pe figură curba OaA , se deduce că inducția magnetică B nu crește proporțional cu H . Aceasta se datorește faptului că permeabilitatea μ nu rămîne constantă, ci variază după o anumită lege (atunci cînd H variază). În ceea ce privește variația inducției magnetice B în funcție de H conform curbei OaA , se vede că la început B crește mai încet, apoi crește foarte repede (porțiunea dreaptă a curbei OaA), pentru ca apoi creșterea să fie din ce în ce mai înceată, iar dincolo de punctul A , oricît s-ar mări intensitatea cîmpului magnetic H inducția magnetică (deci magnetizarea oțelului) rămîne la o anumită valoare maximă egală cu B_m . Se spune că oțelul a ajuns la *saturație magnetică*. Curba OaA care arată cum variază inducția magnetică, adică cum variază magnetizarea oțelului, în funcție de variația intensității cîmpului magnetic, se numește *curba de magnetizare a oțelului*.

Se continuă apoi experiența, prin micșorarea intensității cîmpului magnetic de la valoarea $+H_m$ la zero. Aceasta se obține micșorînd intensitatea curentului din bobină, de la valoarea la care ajunsese, pînă la zero. Se observă că de data aceasta, inducția magnetică B scade, dar nu mai are aceleași valori, pe care le avusese atunci cînd H crescuse de la 0 la $+H_m$, ci are mereu valori *mai mari*, astfel încît atunci cînd H revine la valoarea zero, inducția magnetică, în loc să revină la zero, păstrează o anumită valoare $+B_r$. Aceasta arată că deși *cauza* care produce magnetizarea, adică H , a dispărut, oțelul mai păstrează o anumită magnetizare corespunzătoare inducției magnetice B_r , care poartă numele de *magnetism remanent*. Valoarea acestui magnetism remanent depinde de calitatea oțelului. Unele oțeluri se demagnetizează aproape complet cînd H s-a anulat (oțelul moale), altele, dimpotrivă, păstrează un important magnetism remanent (oțelul dur).

Pentru a face să dispară acest magnetism remanent, deci pentru a anula inducția magnetică B_r , care a rămas în oțel, este necesar să se producă în oțel o valoare *negativă* pentru intensitatea cîmpului magnetic H . Aceasta se obține schimbînd sensul curentului în bobină. În figură se observă că în momentul cînd H a atins valoarea negativă $-H_c$ inducția magnetică în oțel s-a anulat, oțelul s-a demagnetizat complet. Intensitatea cîmpului magnetic $-H_c$ pentru care inducția magnetică s-a anulat, se numește *cîmp coercitiv* sau *forță coercitivă*.

Dacă se micșorează mai departe H , se vede că inducția magnetică devine negativă. Aceasta înseamnă că se schimbă sensul magnetizării în oțel, adică acolo unde era polul nord se formează un pol sud și invers. Scăderea inducției magnetice continuă dacă H scade mai departe, pînă ce atinge valoarea $-B_m$ pentru valoarea $-H_m$ a intensității cîmpului magnetic corespunzător punctului A' . Apoi oțelul se saturează *din nou*. Cînd oțelul are

inducția magnetică minimă $-B_m$ înseamnă că el este totuși magnetizat la maximum, numai că în sens invers de felul în care a fost magnetizat prima dată (polul nord a devenit pol sud și invers).

Dacă apoi se face să crească intensitatea cîmpului magnetic de la valoarea $-H_m$ la zero (făcînd să varieze curentul din bobină, de la valoarea la care ajunsese pentru $-H_m$, la valoarea zero) se constată că și inducția magnetică începe să crească de la valoarea minimă $-B_m$, dar în momentul cînd intensitatea cîmpului magnetic s-a anulat din nou, inducția magnetică nu se anulează, ci mai păstrează valoarea $-B_r$, aceasta arată că oțelul păstrează un magnetism de sens contrar (polii magnetici s-au inversat) același care corespundea inducției magnetice $+B_r$. În sfîrșit, pentru ca inducția magnetică negativă să se anuleze (să dispară din nou magnetismul din oțel), trebuie ca intensitatea cîmpului magnetic să ajungă la valoarea pozitivă $+H_c$. Prin creșterea mai departe a intensității cîmpului magnetic de la $+H_c$ la valoarea maximă $+H_m$, inducția magnetică crește de la valoarea zero la valoarea $+B_m$, după ramura d a curbei din figură, astfel încît se închide ciclul în punctul A .

După aceasta, variînd în mod continuu valoarea intensității cîmpului magnetic între $-H_m$ și $-H_m$, inducția magnetică variază mereu după același ciclu, care corespunde curbei $AbcA'dA$, iar oțelul se magnetizează și se demagnetizează succesiv, după cum s-a arătat.

Nu mai prima dată, adică înainte ca oțelul să mai fi fost magnetizat, curba de magnetizare corespunde traseului OaA . Faptul că pe curba Ab de demagnetizare, în momentul cînd cauza care producea magnetizarea, adică H s-a anulat, inducția magnetică, adică magnetizarea, nu a dispărut, ci a păstrat valoarea $+B_r$, înseamnă că efectul — adică B_r , sau magnetizarea — a rămas în urma cauzei, adică H . Această rămînere în urmă a efectului față de cauză se observă de altfel de-a lungul întregului ciclu de magnetizare și demagnetizare $AbcA'dA$. Din această cauză, fenomenul poartă numele de *hysterezis*, de la cuvîntul grecesc *hystereis*, care înseamnă întîrziere. De asemenea, ciclul menționat se numește *ciclu de hysterezis*, iar curba respectivă, *curba de hysterezis*.

De cîte ori se magnetizează sau se demagnetizează o bucată de oțel, fenomenul este, așadar, întîrziat de o cauză, care se opune acelei magnetizări sau demagnetizării. În consecință, pentru a se magnetiza sau demagnetiza oțelul, trebuie să se consume o anumită energie, care să învingă această cauză care se opune. Energia care se consumă se transformă apoi în căldură, ceea ce se poate constata experimental. Suprafața închisă de ciclu de hysterezis este proporțională tocmai cu această energie.

În figura 4-23 se dau cîteva curbe de magnetizare pentru fontă și unele calități de oțel utilizate în practică.

În figura 4-24 s-a considerat o bucată de oțel în cîmpul magnetic produs de un magnet mai mare, în formă de potcoavă. Bara de oțel, avînd o permeabilitate magnetică mult

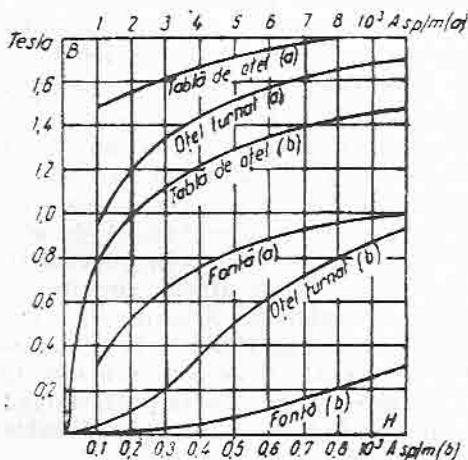


Fig. 4-23. Curbe de magnetizare.

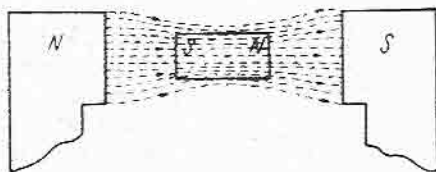


Fig. 4-24. Bară de oțel în cîmp magnetic

mai mare decât aerul, se comportă ca și cum ar lăsa să treacă mult mai ușor liniile de forță magnetică prin oțel decât prin aer. Din această cauză, în bara de oțel, liniile de forță sînt mai dese, iar valoarea inducției magnetice este mai mare decât în aer.

Prin fața din stînga a barei de oțel intră liniile de forță magnetică, iar prin fața din dreapta liniile ies din bara de oțel. Din această cauză, bara devine un magnet, cu polul nord la dreapta și polul sud la stînga.

Din punct de vedere magnetic, materialele se pot împărți în mai multe categorii. Fierul și aliajele sale au o permeabilitate magnetică mult mai mare decât aceea a vidului.

De aceeași proprietăți feromagnetice se bucură, de exemplu, și cobaltul sau nichelul.

Asemenea materiale se numesc *feromagnetice*. Alte corpuri (alumiul, platina, cromul, paladiul) au o permeabilitate magnetică care depășește cu foarte puțin permeabilitatea magnetică a vidului. Astfel de corpuri se numesc *paramagnetice*. În sfîrșit o a treia categorie (aurul, argintul, cuprul, zincul, antimoniu) au permeabilitatea magnetică cu foarte puțin mai mică decât aceea a vidului. Aceste corpuri se numesc *diamagnetice*. Materialele magnetice utilizate în practică sînt descrise la capitolul X.

8. ELECTROMAGNEȚI

O bară de oțel moale înconjurată de o înfășurare parcursă de un curent electric devine magnet, putînd atrage piese de oțel cu o forță proporțională cu pătratul inducției magnetice (B^2). Un astfel de magnet poartă numele de *electromagnet*. Deoarece oțelul moale are un magnetism remanent neglijabil, înseamnă că de cîte ori nu mai trece curent electric prin înfășurare, electromagnetul își pierde calitățile lui magnetice. Pe această proprietate se bazează funcționarea a numeroase tipuri de electromagneți industriali. Un exemplu de folosire a electromagneților este soneria electrică.

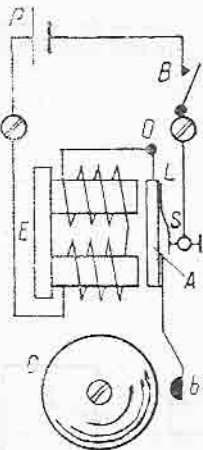


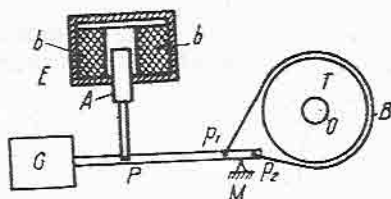
Fig. 4-25. Sonerie electrică.

În figura 4-25 este reprezentată schema constructivă a unei sonerii electrice. Cînd se apasă pe butonul B, se închide circuitul alimentat de bateria de pile P și un curent electric trece prin înfășurările electromagnetului E, care atrage armătura A de oțel fixată prin intermediul lamei de oțel L în punctul O. În momentul cînd armătura a fost atrasă, circuitul se întrerupe în dreptul șurubului S. Nemitrecînd curent prin înfășurările electromagnetului, forța de atracție asupra armăturii încetează, și aceasta sub efectul de arc al lamei L revine în poziția inițială, făcînd din nou contact cu șurubul S și restabilind astfel

continuitatea circuitului. Din nou trece curent prin înfășurările electromagnetului, care atrage iarăși armătura ș.a.m.d.; atît timp cît se apasă pe buton, armătura are o mișcare permanentă de du-te-vino.

Prin intermediul unei pîrghii armătura este solidară cu o piesă mică de metal b , care în consecință va lovi clopotul C ori de cîte ori va fi atrasă de electromagnet. Cînd se ridică mina de pe buton, funcționarea soneriei încetează.

Fig. 4-26. Frîna cu electromagnet.



Electromagneții își găsesc aplicații practice în realizarea diferitelor aparate și utilaje electrice. La paragraful 10 al acestui capitol se arată cum se pot folosi electromagneții pentru ridicarea și deplasarea diverselor greutăți.

O altă aplicație o constituie, de exemplu, frîna cu electromagnet. Principiul de funcționare al acestei frîne este arătat în figura 4-26. Se presupune că arborele O antrenat, de exemplu, de un motor electric trebuie să fie uneori frînat rapid. În acest scop, solidar cu arborele O se fixează un tambur T , în jurul căruia se găsește banda de oțel B prinsă de pîrghia P în punctele p_1 și p_2 .

În timpul frînării, greutatea G acționează asupra extremității din stînga a pîrghiei P , care, oscilînd în jurul punctului M , strînge cu putere banda B asupra tamburului T .

Cînd frînarea trebuie să înceteze, se lasă să treacă un curent electric în bobina b a unui electromagnet E . Acest electromagnet atrage armătura sa A în formă de tijă, ridicînd-o. Astfel se compensează efectul greutății G și se slăbește banda B din jurul tamburului.

9. CIRCUITUL MAGNETIC

În figura 4-27 se consideră o piesă de oțel inelară, avînd pe o anumită porțiune o înfășurare constituită din n spire parcurse de curentul I . După cum se știe, acest curent dă naștere la un cîmp magnetic. Liniile de forță ale acestui cîmp se vor strînge în interiorul piesei de oțel, din cauza mării permea-

bilități magnetice a acestui material. Valoarea inducției magnetice de oțel este :

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I = \mu \cdot \frac{n}{l} I,$$

în care l este lungimea medie a inelului de oțel : $l = 2\pi r$, r fiind raza cercului mediu al inelului.

Sensul inducției magnetice ca și cel al liniilor de forță magnetică din oțel, care sînt cercuri concentrice cu centrul în O , se află folosind regula burghiului.

Dacă se notează cu S suprafața înconjurată de o spirală, fluxul magnetic corespunzător unei spire este :

$$\Phi = B \cdot S = \mu \cdot \frac{nI}{l} \cdot S = \frac{nI}{\frac{l}{\mu S}}$$

Expresia :

$$\mathcal{F} = nI \quad (4.11)$$

Fig. 4-27. Circuit magnetic inelar.

se numește *forța* (sau *tensiunea*) *magnetomotoare*, iar expresia :

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S} \quad (4.12)$$

se numește *reluctanța magnetică* a miezului de oțel.

Făcîndu-se înlocuirile, se poate scrie :

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}}, \quad (4.13)$$

ceea ce arată că fluxul magnetic este egal cu forța magnetomotoare împărțită prin valoarea reluctanței magnetice.

Forța magnetomotoare nu este o forță mecanică, ci trebuie considerată drept cauza care produce fluxul magnetic. Deoarece cu cît reluctanța este mai mare, cu atît fluxul magnetic este mai mic, se vede că mărimea numită reluctanță se comportă ca o rezistență magnetică față de flux. Formula de mai înainte se aseamănă ca formă generală cu formula corespunzătoare legii lui Ohm.

Drumul pe care-l parcurg liniile de forță magnetică (fig. 4-27) se numește *circuit magnetic*. Din această cauză, relația de mai înainte care dă valoarea fluxului magnetic Φ în funcție de forța magnetomotoare \mathcal{F} și de reluctanța magnetică \mathcal{R} , poartă numele de *legea circuitului magnetic*, după cum legea lui Ohm este *legea circuitului electric*.

Fluxul magnetic Φ determinat prin legea circuitului magnetic corespunde nu numai unei spire a bobinei din figura 4-27, dar oricărei secțiuni drepte S prin inelul de oțel, dat fiind că aceleași linii magnetice trec prin oricare asemenea secțiune.

În figura 4-28 s-a presupus că miezul de oțel este întrerupt pe o porțiune mică avînd lungimea l_a . În acest caz, circuitul magnetic este constituit din două medii diferite, și anume o porțiune de oțel de lungimea l_o și o porțiune de aer de lungimea l_a . Porțiunea de aer din circuitul magnetic se numește *întrefier*. În acest caz, în formula corespunzătoare legii circuitului magnetic reluctanța este formată din doi termeni, și anume un termen egal cu reluctanța porțiunii de oțel, adică :

$$\frac{l_o}{\mu \cdot S}$$

și un al doilea termen egal cu reluctanța porțiunii de aer, adică :

$$\frac{l_a}{\mu_o \cdot S}$$

Fig. 4-28. Circuit magnetic inelar cu întrefier.

Legea circuitului magnetic se scrie în acest caz :

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} = \frac{nI}{\frac{l_o}{\mu \cdot S} + \frac{l_a}{\mu_o \cdot S}} \quad (4.14)$$

Introducerea unui întrefier are drept efect o mărire importantă a reluctanței circuitului magnetic. Circuitele magnetice cu întrefier se întilnesc în aplicațiile practice, în special la mașinile electrice. La aceste mașini, calculul fluxului magnetic se bazează pe legea circuitului magnetic. La mașinile electrice este necesar să se obțină un flux magnetic cît mai mare.

În acest scop, între altele, se micșorează reluctanța magnetică, făcîndu-se întrefierul circuitului magnetic respectiv cît mai redus, după cum se va arăta la studiul mașinilor electrice (cap. XIV—XVII).

10. FORȚA PORTANTĂ A ELECTROMAGNETULUI

Printre diversele aplicații practice ale electromagneților există și utilizarea lor pentru transportarea pieselor de oțel. Forța maximă cu care un electromagnet poate atrage o armătură de oțel se numește *forță portantă*. Valoarea acestei forțe portante indică și valoarea greutateii piesei ce poate

fi ridicată de către electromagnet. În figura 4-29 s-a presupus un electromagnet în formă de potcoavă, avînd în fața polilor săi o armătură de oțel. Expresia care dă valoarea forței portante este în acest caz următoarea

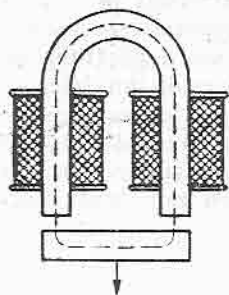


Fig. 4-29. Electromagnet pentru ridicarea de greutăți.

$$F = \frac{B^2 S}{\mu_0} \quad (4.15)$$

în care :

B este inducția magnetică în întrefierul dintre armătură și poli, în tesla ;

S — suprafața secțiunii străbătute de liniile magnetice ale unui pol, în metri pătrați;

μ_0 — permeabilitatea magnetică a întrefierului, egală cu $4\pi/10^7 \frac{\text{Wb}}{\text{Am}}$. Forța portantă F rezultă în newtoni.

Aplicația 4-2. Inducția magnetică B în întrefierul dintre armătura unui electromagnet și polii săi este de 1,5 T, iar secțiunea străbătută de liniile magnetice în întrefier este $S=10 \text{ cm}^2$. Care este valoarea forței portante a electromagnetului ?

Rezolvare. Forța portantă este dată de :

$$F = \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0} = \frac{1,5^2 \cdot 0,001}{\frac{4\pi}{10^7}} = 1791 \text{ N.}$$

CAPITOLUL V

INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ

1. PRODUCE RE FORȚEI ELECTROMOTOARE DE INDUCȚIE PRIN VARIATIA FLUXULUI MAGNETIC ÎN SPIRE

Se consideră o bobină B (fig. 5-1) la bornele căreia este legat un aparat A , care poate indica trecerea unui curent electric și sensul acestuia. Dacă se introduce, de exemplu, de sus în jos un magnet M în bobină, se observă că, în timpul deplasării magnetului, prin bobină trece un curent electric (acul indicator al aparatului A se deplasează). După ce magnetul s-a oprit, curentul dispare (acul aparatului A revine la zero). Dacă se scoate magnetul din bobină, se observă din nou trecerea unui curent electric, de sens contrar cu primul (acul aparatului A deviază în sens contrar față de prima dată). După ce magnetul a fost scos complet din bobină și îndepărtat, curentul se anulează din nou.

Explicația acestor manifestări este următoarea: înainte ca magnetul să fie introdus în bobină, spirele bobinei nu sînt străbătute de linii de forță magnetică, adică fluxul magnetic prin aceste spire este nul. Pe măsura introducerii magnetului numărul de linii de forță care străbate fiecare spirală crește, astfel că la sfîrșit fluxul magnetic prin fiecare spirală devine

$$\Phi = B \cdot S$$

în care B este inducția magnetică corespunzătoare cîmpului magnetic din interiorul fiecărei spire, în momentul cînd magnetul este complet introdus în bobină, iar S , suprafața unei spire.

Cît timp magnetul rămîne în interiorul bobinei, fluxul magnetic prin fiecare spirală este constant și egal

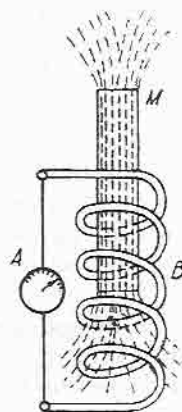


Fig. 5-1. Inducția electromagnetică prin introducerea unui magnet într-o bobină.

* Aparatele de măsurat sînt descrise la capitolul XI.

cu valoarea arătată mai înainte. În timpul scoaterii magnetului, fluxul magnetic *descrește* din nou pînă la zero.

Din cele arătate se trage următoarea concluzie: *Cînd fluxul magnetic dintr-o spirală variază, în spirală ia naștere o forță electromotoare, care produce un curent electric.* Acest fenomen poartă numele de *inducție electromagnetice*. Forța electromotoare și curentul care iau naștere prin inducție electromagnetică se numesc *forță electromotoare și curent de inducție*.

Dacă printr-o spirală, fluxul magnetic variază uniform de la valoarea Φ_1 la valoarea Φ_2 în timpul care trece de la momentul t_1 la t_2 , valoarea forței electromotoare de inducție este:

$$E = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} \quad (5.1)$$

Dacă se notează*: $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

și:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

relația (5.1) se poate scrie:

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (5.2)$$

Relația (5.2) reprezintă legea de bază a inducției electromagnetice, care se poate enunța astfel: *Forța electromotoare de inducție ce apare într-o spirală este egală cu variația fluxului magnetic din spirală în raport cu timpul, lăsată cu semn schimbat.* Dacă fluxul se măsoară în weberi și timpul în secunde, forța electromotoare se obține în volți.

Pentru o bobină cu n spire, ca în figura 5-1, forța electromotoare de inducție totală E_t va fi de n ori mai mare, adică:

$$E_t = n \cdot E = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (5.3)$$

Sensul forței electromotoare de inducție în spirală se determină cu ajutorul *legii lui Lenz*, care se poate enunța astfel: *Efectul linde totdeauna să se opună cauzei care l-a produs.*

În figura 5-2, *a* se consideră o spirală străbătută de linii de forță magnetică, de exemplu de jos în sus și se presupune că valoarea inducției magnetice crește. În acest caz, fluxul magnetic respectiv Φ_1 crește și are sensul de jos în sus. Variația fluxului produce în spirală o forță electromotoare și un curent de inducție. Sensul acestui curent I este astfel, încît fluxul Φ_2 produs de I să se opună cauzei care l-a produs, adică creșterii fluxului Φ_1 . Rezultă că fluxul Φ_2 trebuie să aibă un sens contrar fluxului Φ_1 , adică de jos în sus. Sensul curentului I , ce dă naștere fluxului Φ_2 , se

* Semnul Δ reprezintă litera mare grecească ce se citește „delta”.

obține cu ajutorul regulii burghiului, care arată că I are sensul orar, ca și forța electromotoare de inducție care-l produce.

În figura 5-2, *b* spira este străbătută de linii de forță magnetică tot de jos în sus, dar se presupune că valoarea inducției magnetice scade. În acest caz, fluxul Φ_1 scade, iar în spirală apare o forță electromotoare de inducție

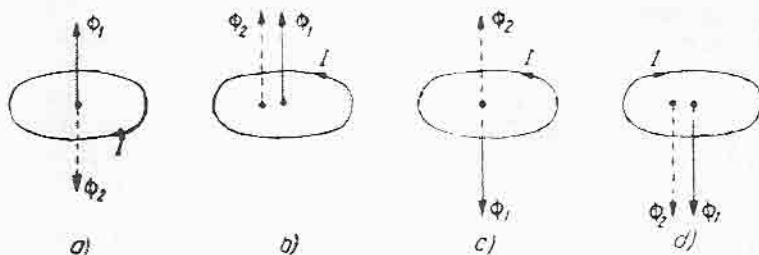
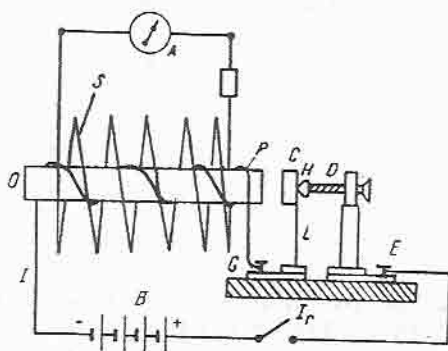


Fig. 5-2. Sensul forței electromotoare de inducție.

care produce un curent de inducție I . Sensul curentului este astfel, încît fluxul Φ_2 produs de I să se opună cauzei care l-a produs, adică scăderii fluxului Φ_1 . Pentru aceasta, trebuie ca fluxul Φ_2 să întărească fluxul Φ_1 , adică să aibă același sens — de jos în sus — ca fluxul Φ_1 . Cunoșcînd sensul fluxului Φ_2 , se poate determina sensul curentului de inducție I (și deci al forței electromotoare de inducție), aplicînd regula burghiului; se obține sensul antiorar.

În mod analog se procedează și în cazul din figura 5-2, *c*, unde fluxul magnetic Φ_1 este dirijat de sus în jos și crește, precum și în cazul din figura 5-2, *d*, unde Φ_1 este dirijat tot de sus în jos, dar scade.

Fig. 5-3. Bobină de inducție.



În figura 5-3 este reprezentat un aparat numit *bobină de inducție*, care funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică. În jurul barei de oțel moale O se găsește înfășurarea P cu un număr mic de spire mai groase și izolate. În jurul acestei înfășurări se găsește o a doua înfășu-

rare S cu un număr mult mai mare de spire subțiri, de asemenea izolate. În circuitul înfășurării P se montează bateria B și întrerupătorul I_r .

Cînd se închide întrerupătorul I_r , un curent electric trece de la baterie, prin întrerupătorul I_r , borna E , șurubul de reglare D , lama de oțel L , borna G , înfășurarea P , și din nou la baterie. Oțelul moale O , magnetizîndu-se atrage armătura C , întrerupînd astfel circuitul; bara de oțel se demagnetizează iar lama L readuce armătura în poziția inițială, restabilindu-se circuitul ș.a.m.d. Atît timp cît întrerupătorul I_r este închis, curentul I din înfășurarea P se stabilește și se întrerupe periodic.

În momentul în care trece curent prin înfășurarea P , apare un cîmp magnetic produs de curent, iar liniile magnetice ale cîmpului străbat atît înfășurarea P , cît și înfășurarea S . În consecință, în înfășurarea S fluxul magnetic *variază* periodic de la zero la o anumită valoare (cînd se stabilește curentul I în înfășurarea P) și de la această valoare la zero (cînd se anulează curentul I). Din această cauză, în înfășurarea S apare o forță electromotoare de inducție, care produce un curent de inducție dacă circuitul S este închis. Cînd fluxul magnetic crește, forța electromotoare de inducție are un anumit sens, iar cînd scade, are sensul contrar, adică este *alternativă*.

Bobina de inducție servește la transformarea unei tensiuni continue la bornele bateriei B într-o tensiune alternativă la bornele circuitului S .

Fenomenul de inducție electromagnetică este foarte important în practică, deoarece își găsește o largă aplicație în funcționarea mașinilor electrice și a multor aparate.

Aplicația 5-1. O bobină cu axa rectilinie, care are $n=300$ spire și un diametru mediu $d=5$ cm, este străbătută de liniile de forță ale unui cîmp magnetic după direcția axei sale, cîmpul avînd inducția magnetică $B=2T$. În cît timp trebuie să se anuleze cîmpul magnetic pentru ca în bobină să ia naștere o forță electromotoare de inducție $E=10$ V?

R e z o l v a r e. Dacă S este suprafața spirei, fluxul magnetic care străbate bobina este:

$$\Phi_1 = n \cdot B \cdot S = n \cdot B \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 2 \cdot \frac{\pi 0,05^2}{4} = 1,18 \text{ Wb.}$$

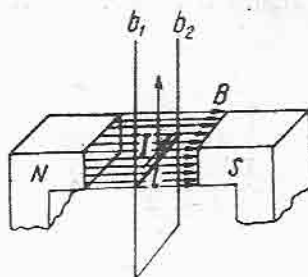
$$\text{Dar: } E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Phi_1}{\Delta t}. \text{ Deci } \Delta t = 0,118 \text{ s.}$$

2. PRODUCEREA FORȚEI ELECTROMOTOARE DE INDUCȚIE PRIN TĂIEREA DE CĂTRE UN CONDUCTOR A LINIILOR DE FORȚĂ MAGNETICE

În figura 5-4 este reprezentat un conductor de lungime l , care se poate deplasa sprijinindu-se mereu cu extremitățile sale de barele verticale metalice b_1 și b_2 legate electric între ele. Se presupune că acest conduc-

tor este introdus de jos în sus într-un câmp magnetic cu inducția magnetică B , ale cărei linii de forță magnetică sînt perpendiculare pe direcția conductorului. Se presupune de asemenea că forța F care deplasează conductorul este perpendiculară pe planul format pe direcția conductorului și direcția liniilor de forță.

Fig. 5-4. Conductor care taie linii magnetice de forță.



Pe măsură ce conductorul pătrunde în câmpul magnetic, un număr din ce în ce mai mare de linii de forță trece prin conturul închis de circuitul din care face parte conductorul, astfel încît fluxul magnetic prin acest contur crește; în circuit și deci prin conductor trece un curent de inducție I , datorită unei forțe electromotoare de inducție ce ia naștere în conductorul care taie liniile de forță.

Dacă conductorul de lungime l s-a deplasat în intervalul de timp Δt cu distanța Δa în câmpul magnetic, el a descris suprafața:

$$\Delta S = l \cdot \Delta a.$$

Fluxul magnetic care străbate planul circuitului din care face parte conductorul a variat (a crescut) în intervalul de timp Δt de la o valoare Φ_1 la altă valoare Φ_2 , iar:

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta \Phi = B \cdot \Delta S.$$

Din cauza variației fluxului magnetic, apare în conductor forța electromotoare de inducție:

$$E = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = -\frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} = B \cdot l \cdot \frac{\Delta a}{\Delta t}$$

Deoarece:

$$\frac{\Delta a}{\Delta t} = v$$

este viteza de deplasare a conductorului, rezultă:

$$E = B \cdot l \cdot v. \quad (5.4)$$

În consecință, cînd un conductor taie linii de forță magnetică, în acel conductor apare o forță electromotoare de inducție a cărei valoare este dată de produsul dintre valoarea inducției magnetice, a lungimii conductorului în

cîmp și a vitezei conductorului. Dacă se măsoară inducția magnetică în tesla, lungimea conductorului în metri și viteza sa în metri pe secundă, forța electromotoare se obține în volți.

Conform legii lui Lenz, sensul forței electromotoare E este astfel încît tinde să producă un curent I , care, la rîndul lui dă naștere la o forță electromagnetică ce se opune cauzei adică forței F , care deplasează conductorul în cîmp. În figura 5-4, deoarece forța F este dirijată în sus, forța elec-

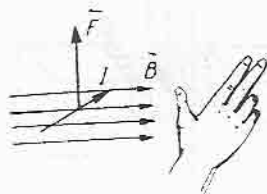


Fig. 5-5. Regula mîinii drepte pentru aflarea sensului forței electromotoare de inducție.

tromagnetică, ce se opune acestei deplasări, va trebui să fie dirijată în jos. Conform regulii cunoscute dacă forța electromagnetică este dirijată în jos, sensul curentului și al forței electromotoare va fi din fața planului hîrtiei înspre spatele acestui plan.

Sensul forței electromotoare de inducție se poate afla și cu ajutorul regulii mîinii drepte: Dacă se așază mina dreaptă desfăcută, astfel încît liniile magnetice să intre în palmă, iar degetul mare în direcția forței de deplasare a conductorului, sensul forței electromagnetice de inducție (și a curentului ce poate fi produs) este dat de direcția degetului arătător (fig. 5-5).

Aplicația 5-2. Un conductor de cupru cu o lungime $l=10$ cm este deplasat ca în figura 5-4, cu o viteză $v=15$ cm/s într-un cîmp magnetic a cărui inducție magnetică este $B=1,5$ T. Care este forța electromotoare de inducție E ?

Rezolvare.

$$E=B \cdot l \cdot v=1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,15=0,0225 \text{ V.}$$

3. CURENȚI TURBIONARI (FOUCAULT)

În figura 5-6 se reprezintă o piesă prismatică din oțel moale care este înconjurată de un fir metalic izolat. Dacă prin înfășurare trece un curent electric a cărui intensitate I variază în timp, el va produce în oțel un cîmp magnetic și deci un flux magnetic variabil în timp.

Masa de oțel se comportă ca un mare număr de circuite închise străbătute de un flux magnetic variabil. Din această cauză, în circuite iau naștere forțe electromotoare de inducție, care produc la rîndul lor curenți

de inducție numiți *turbionari*, din cauza formei lor de vîrtej (sau turbion). În figura 5-6, în planul frontal superior al piesei, sînt arătați curenții turbionari și sensul lor. Trecerea curenților prin oțel creează pierderi conform legii Joule-Lenz.

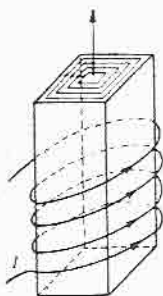


Fig. 5-6. Produce-rea curenților turbionari.

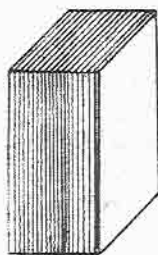


Fig. 5-7. Miez din tole de oțel izolate.

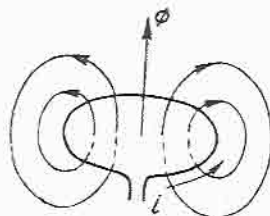
În piesele de oțel ale mașinilor electrice se produc de multe ori astfel de pierderi prin curenți turbionari. Pentru a le reduce, miezul magnetic al mașinilor electrice de curent alternativ se execută din foi subțiri de 0,35 și 0,5 mm (fig. 5-7) din tablă de oțel aliat cu siliciu („tablă silicioasă”).

4. INDUCȚIA PROPRIE

În figura 5-8 se consideră o spirală parcursă de curentul i . Acest curent dă naștere la un câmp magnetic, astfel încît prin spirală trece fluxul magnetic Φ . Inducția magnetică, deci și fluxul Φ fiind proporționale cu curentul respectiv, se poate scrie :

$$\Phi = L \cdot i, \quad (5.5)$$

Fig. 5-8. Fenomenul de inducție proprie.



în care L este un factor de proporționalitate, care depinde de permeabilitatea magnetică a mediului (în cazul aerului μ_0) și din forma și dimensiunile geometrice ale circuitului.

Dacă curentul i variază, fluxul Φ variază de asemenea. Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, va apare în ea o forță electromotoare de inducție, numită *de inducție proprie* sau *de autoinducție*, deoarece este produsă prin variația curentului din propriul său circuit. Factorul L poartă numele de *inductivitate proprie* sau *autoinductivitatea* circuitului. Din relația (5.5) rezultă :

$$L = \frac{\Phi}{i}. \quad (5.6)$$

Dacă fluxul Φ se măsoară în weberi, iar curentul i în amperi rezultă pentru inductivitatea L o unitate de măsură numită *henry* (H).

Considerînd că în intervalul de timp Δt , intensitatea curentului a variat cu Δi , relația (5.5) arată că, în același interval de timp, fluxul magnetic a variat cu :

$$\Delta \Phi = L \cdot \Delta i.$$

În consecință, valoarea forței electromotoare de autoinducție este :

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Dacă o bobină de n spire este străbătută de curentul i , curentul creează un câmp magnetic, ale cărui linii de forță parcurg un anumit traseu numit, după cum se știe, circuit magnetic. Dacă reluctanța magnetică a acestui circuit este \mathcal{R} conform regulii circuitului magnetic, fluxul magnetic Φ care trece prin fiecare spirală este :

$$\Phi = \frac{n \cdot i}{\mathcal{R}}.$$

Fluxul magnetic total Φ_t care trece prin cele n spire va fi :

$$\Phi_t = n \cdot \Phi = \frac{n^2 \cdot i}{\mathcal{R}}.$$

Dacă se notează cu L inductivitatea întregii bobine, conform cu (5.6) rezultă :

$$L = \frac{\Phi_t}{i} = \frac{n^2}{\mathcal{R}}. \quad (5.7)$$

Inductivitatea unei bobine este deci direct proporțională cu pătratul numărului de spire și invers proporțională cu reluctanța. Reluctanța este invers proporțională cu permeabilitatea magnetică, astfel încît inductivitatea este direct proporțională cu permeabilitatea magnetică. Din această cauză o bobină cu miez de oțel are o inductivitate cu mult mai mare decît o bobină fără un asemenea miez.

Din cauza fenomenului de inducție proprie, orice variație de curent dintr-un circuit dă naștere la o forță electromotoare de autoinducție, care

se opune cauzei care o produce, adică se opune variației curentului, întârziind această variație. Acest fenomen de *inerție electrică* se poate observa mai ales la întreruperea curentului dintr-un circuit. Când se deschide un întrerupător, curentul nu dispare instantaneu, ci — datorită fenomenului de autoinducție — se mai menține un timp, ceea ce face să apară un arc electric între contactele întrerupătorului.

Aplicația 5-8. O bobină dreaptă are $n=300$ spire, iar diametrul mediu al bobinei este $d=5$ cm. Când înfășurarea bobinei este parcursă de un curent $I=8$ A, inducția magnetică în interiorul său de-a lungul axei sale longitudinale este $B=1,6$ T. Care este inductivitatea proprie L a bobinei?

Rezolvare. Fluxul magnetic prin bobină este:

$$\Phi = n \cdot B \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 1,6 \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,942 \text{ Wb.}$$

În consecință:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{0,942}{8} = 0,118 \text{ H.}$$

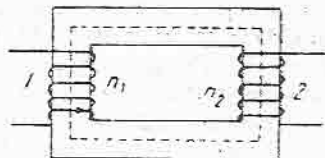
5. INDUCȚIA MUTUALĂ

Se consideră un miez de oțel moale cu două înfășurări ca în figura 5-9. Bobina 1 are n_1 spire iar bobina 2 are n_2 spire. Dacă prin bobina 1 trece curentul I_1 , fluxul magnetic produs va fi:

$$\Phi_1 = \frac{n_1 \cdot I_1}{\mathcal{R}}$$

în care \mathcal{R} este reluctanța circuitului magnetic.

Fig. 5-9. Bobine cu miez comun din oțel.



Fluxul Φ_1 trece și prin fiecare spirală a bobinei 2. Prin toate cele n_2 spire ale acestei bobine va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{12} = n_2 \Phi_1 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathcal{R}} I_1 = M \cdot I_1.$$

Conform acestei relații, fluxul Φ_{12} este proporțional cu curenții I_1 ; s-a notat cu M factorul de proporționalitate între curenții I_1 și fluxul Φ_{12} :

$$M = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathcal{R}}. \quad (5.8)$$

Dacă bobina 2 este parcursă de curenții I_2 , fluxul magnetic produs de bobina 2 prin fiecare spirală a bobinei 1 este:

$$\Phi_2 = \frac{n_2 \cdot I_2}{\mathcal{R}}.$$

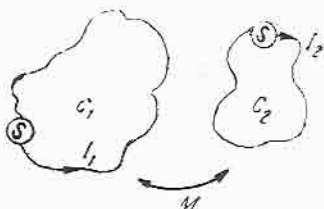


Fig. 5-10. Inducția mutuală a două circuite.

Prin toate cele n_1 spire ale bobinei 1 va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{21} = n_1 \Phi_2 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathcal{R}} I_2 = M \cdot I_2.$$

În mod analog, dacă se consideră în general două circuite oarecare C_1 și C_2 (fig. 5-10), parcurse respectiv de curenții I_1 și I_2 , fluxul magnetic produs de curenții I_1 din circuitul C_1 și care străbate circuitul C_2 este:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1 \quad (5.9)$$

iar fluxul magnetic produs de curenții I_2 din circuitul C_2 și care străbate circuitul C_1 este:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2 \quad (5.10)$$

Se observă că expresia fluxurilor magnetice Φ_{12} și Φ_{21} apare același factor de proporționalitate M . Mărimea M poartă numele de *inductivitate mutuală* a celor două circuite și se măsoară tot în henry ca și inductivitatea L .

Inductivitatea mutuală depinde de permeabilitatea magnetică a mediului, de forma și dimensiunile geometrice ale circuitelor și de poziția lor reciprocă. Dacă în figura 5-10, curenții I_1 variază de exemplu cu ΔI_1 , în intervalul de timp Δt apare în circuitul C_2 o forță electromotoare indusă de variația curenților din circuitul C_1 și denumită forță electromotoare de *inducție mutuală*:

$$E_{12} = - \frac{\Delta \Phi_{12}}{\Delta t} = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (5.11)$$

unde $\Delta \Phi_{12}$ reprezintă variația corespunzătoare a fluxului magnetic Φ_{12} .

În mod analog, dacă curentul I_2 variază cu ΔI_2 , în circuitul C_1 apare o forță electromotoare de inducție mutuală:

$$E_{21} = - \frac{\Delta \Phi_{21}}{\Delta t} = - M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}. \quad (5.12)$$

Aplicația 5-4. Se consideră două bobine drepte, goale în interior. Dacă în prima bobină, în intervalul de timp $\Delta t_1 = 1/25$ s, curentul crește de la zero la $I_1 = 5$ A, în a doua bobină apare o forță electromotoare de inducție mutuală $E_2 = 5$ V. Să se determine forța electromotoare de inducție mutuală E_1 , care apare în prima bobină, atunci când într-un interval de timp $\Delta t_2 = 1/15$ s, curentul în a doua bobină crește de la zero la $I_2 = 10$ A.

Rezolvare. Când curentul din prima bobină crește de la zero la $I_1 = 5$ A, fluxul magnetic în a doua bobină crește de la zero la valoarea:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1 = M \cdot 5 \text{ Wb}$$

în care M este inductivitatea mutuală între cele două bobine.

Conform legii inducției electromagnetice:

$$E_2 = \frac{5 \cdot M}{\Delta t_1} = \frac{5 \cdot M}{\frac{1}{25}}$$

de unde:

$$M = 0,04 \text{ H.}$$

Când curentul din a doua bobină crește de la zero la $I_2 = 10$ A, fluxul magnetic în prima bobină crește de la zero la valoarea:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2 = 0,04 \cdot 10 = 0,4 \text{ Wb.}$$

Forța electromotoare de inducție mutuală în prima bobină va fi:

$$E_1 = \frac{0,4}{\frac{1}{15}} = 6 \text{ V.}$$

6. CUPLAJUL BOBINELOR

Ținând seama de relația (5.7) rezultă că inductivitățile bobinelor din figura 5-9 sînt:

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \frac{n_1^2}{\mathcal{R}} \\ L_2 &= \frac{n_2^2}{\mathcal{R}} \end{aligned} \right\} \quad (5.13)$$

Relația (5.8) arată valoarea inductivității mutuale M a celor două bobine. Din relațiile (5.8) și (5.13) rezultă:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (5.14)$$

Relația (5.14) este valabilă numai dacă întregul flux magnetic produs de bobina 1 trece și prin bobina 2 și dacă întregul flux magnetic produs de bobina 2 trece prin bobina 1, adică nu avem scăpări de flux.

Între două bobine există însă practic scăpări de flux, mai ales dacă bobinele nu au același miez. În acest caz, relația (5.14) devine:

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

în care k este subunitar și se numește *coeficient de cuplaj magnetic* al celor două bobine.

CAPITOLUL VI

UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Pentru mărimile electrice și magnetice întâlnite s-au prevăzut unitățile de măsură corespunzătoare. Toate aceste unități (în afară de cele pentru care s-a făcut mențiune contrară), fac parte dintr-un anumit sistem de unități, care este legal și obligatoriu în țara noastră* numit *sistemul internațional* notat prescurtat „SI”.

În acest sistem există șase unități de măsură numite *fundamentale*, din care se deduc celelalte unități, care se numesc unități *derivate*. Cele șase unități de măsură fundamentale din SI sînt:

- metrul* pentru lungime;
- kilogramul* pentru masă;
- secunda* pentru timp;
- amperul* pentru intensitatea curentului electric;
- gradul Kelvin* pentru temperatură;
- candela* pentru intensitatea luminoasă.**

Se caută să se aleagă astfel unitățile de măsură, încît legile științifice să poată fi exprimate prin relații cît mai simple.

În domeniul mecanicii de exemplu, sînt suficiente, în mod normal, numai unitățile fundamentale referitoare la lungime, masă și timp, împreună cu unitățile derivate corespunzătoare. Din această cauză, a fost conceput mai demult, pentru domeniul mecanicii, sistemul MKS. Acest sistem are ca unități fundamentale *metrul* pentru lungime, *kilogramul* pentru masă și *secunda* pentru timp. Denumirea MKS provine de la inițialele celor trei cuvinte: metru, kilogram, secundă. Toate celelalte unități ale acestui sistem derivă din unitățile lui fundamentale. De exemplu, viteza se măsoară în metri pe secundă (m/s), volumul se măsoară în metri cubi (m³) etc. Din cele arătate rezultă că sistemul MKS este cuprins în SI, care este valabil pentru toate domeniile științifice.

De asemenea, pentru domeniul electricității și magnetismului se constată că, în mod normal, sînt suficiente patru unități fundamentale (cele

* În conformitate cu H.C.M. Nr. 550/1961.

** Intensitatea luminoasă este explicată la cap. XIX.

trei din sistemul MKS și una în plus), cu unitățile derivate corespunzătoare. A patra unitate fundamentală a fost aleasă *amperul*, pentru intensitatea curentului electric. Astfel, pentru domeniile electricității și magnetismului a fost conceput sistemul de unități denumit MKSA, unde litera A corespunde celei de a patra unități fundamentale (amperul).

Există două sisteme MKSA. În primul, denumit sistemul MKSA *raționalizat*, permeabilitatea magnetică a vidului este dată de :

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

În cel de-al doilea, numit sistemul MKSA *neraționalizat* (sau clasic), permeabilitatea magnetică a vidului este dată de :

$$\mu_0 = 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Sistemul MKSA raționalizat este cuprins în SI, pe cînd sistemul MKSA clasic are o serie de unități derivate necuprinse în SI.

Sistemul CGS are ca unități de măsură fundamentale : centimetrul pentru lungime, gramul (notat cu g) pentru masă și secunda pentru timp. Trecîndu-se în domeniul electricității și al magnetismului, pentru a se obține o simplificare, s-a făcut următoarea convenție : permeabilitatea magnetică a vidului, μ_0 , este egală cu un simplu număr și anume 1. Permeabilitatea magnetică μ a unui mediu oarecare, de exemplu a oțelului, va fi egală cu alt număr, care, evident, va arăta raportul dintre permeabilitatea magnetică a acestui mediu și aceea a vidului*. Sistemul de unități astfel constituit se numește *sistemul CGS μ_0* sau *CGS electromagnetic*, deoarece are avantajul de a reda sub o formă simplificată relațiile care se referă la fenomenele din electromagnetism.

Sistemul CGS electromagnetic nu este însă avantajos din punctul de vedere al simplificării relațiilor în domeniul fenomenelor electrostatice. Din această cauză, pentru relațiile din acest domeniu s-a făcut convenția : permitivitatea vidului ϵ_0 (constanta dielectrică), este egală cu 1 (un simplu număr**). Sistemul de unități care utilizează această convenție se numește *sistemul CGS ϵ_0* sau *CGS electrostatic* și are avantajul de a reda sub o formă mai simplificată relațiile care se referă la fenomenele electrostatice.

În tabela 6-1 se dau valorile permeabilității magnetice a vidului (μ_0) și a permitivității vidului (ϵ_0) în diversele sisteme de unități menționate.

În tabela 6-2 se dau cele mai frecvente unități din sistemul internațional SI precum și legătura cu sistemul CGS μ_0 , deoarece aceste sisteme sînt cele mai utilizate.

* Aceasta este echivalent cu a spune că permeabilitatea magnetică are ca unitate de măsură permeabilitatea magnetică a vidului (μ_0).

** Aceasta este echivalent cu a spune că permitivitatea are ca unitate de măsură permitivitatea vidului (ϵ_0).

Tabela 6-1

Valorile permeabilităților magnetice și a permitivității vidului

	Sistemul de unități			
	SI (MKSA raționalizat)	MKSA clasic	CGS μ_0 clasic	Sistemul CGS ϵ_0
ϵ_0	$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^9}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	1
μ_0	$\frac{4\pi}{10^7}$	$\frac{1}{10^7}$	1	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$

În afară de unitățile electrice și magnetice arătate în tabelele de mai înainte pentru sistemele de unități respective, se mai folosesc și o serie de multipli și submultipli zecimali. Dintre aceștia, se dau mai departe, cei mai frecvenți :

kilovat (kV), 1 kV=1 000 V ; milihenry (mH), 1 mH= 10^{-3} H ; milivolt (mV), 1 mV= 10^{-3} V ; microfarad (μ F), 1 μ F= 10^{-6} F ; miliamper (mA), 1 mA= 10^{-3} A ; kilowat (KW), 1 kW= 10^3 W.

Cînd se introduc astfel de multipli și submultipli în relațiile utilizate, trebuie să se facă transformările numerice necesare, deoarece altfel apar greșeli.

Aplicația 6-1. O bobină inelară are diametrul mediu al inelului de 20 cm. Numărul spirelor este $n=400$. Intensitatea cîmpului magnetic în interiorul bobinei este $H=10$ Oe. Care este intensitatea curentului electric, măsurată în amperi, ce trece prin înfășurarea bobinei.

R e z o l v a r e. Lungimea cercului mediu al inelului este :

$$l=3,14 \cdot 0,2=0,628 \text{ m.}$$

Dacă se notează cu I , în amperi, intensitatea curentului electric în bobină, intensitatea cîmpului magnetic are valoarea :

$$\frac{n}{l} I = \frac{400}{0,628} I \text{ A/m sau Asp/m.}$$

Deoarece :

$$1 \text{ Asp/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe.}$$

se poate scrie :

$$\frac{400}{0,628} I \cdot 4\pi \cdot 10^{-3} = 18 \text{ Oe}$$

de unde :

$$I = \frac{18 \cdot 0,628}{400 \cdot 4\pi \cdot 10^{-3}} = 2,25 \text{ A.}$$

Tabelă 6-2

Unități de măsură SI

Mărimea	Unități fundamentale		Relația de legătură cu sistemul CGS _{μ₀}
	SI		
	Denumirea	Simbolul	
1	2	3	1
Lungime	Metru	m	1 m = 100 cm
Masă	Kilogram	kg	1 kg = 1 000 g
Timp	Secundă	s	La fel ca în SI
Intensitatea curentului	Amper	A	1 A = 10 ⁻¹ CGS _{μ₀}
Temperatură	Grad Kelvin	°K	La fel ca în SI
Intensitatea luminoasă	Candelă	cd.	La fel ca în SI
Unități mecanice derivate			
Forță	Newton	N	1 N = 10 ⁵ dyne
Energie	Joule	J	1 J = 10 ⁷ ergi
Putere	Watt	W	1 W = 10 ⁷ ergi/s
Frecvență	Hertz (peri- oade pe secundă)	Hz	La fel ca în SI
Unități electrice derivate			
Cantitate de electricitate (sarcină electrică)	Coulomb	C	1 C = 10 ⁻¹ CGS _{μ₀}
Tensiunea electrică (diferen- ță de potențial). Potențial.			
Forță electromotoare (ten- siune electromotoare)	Volt	V	1 V = 10 ⁸ CGS _{μ₀}
Rezistența electrică.	Ohm	Ω	1 Ω = 10 ⁹ CGS _{μ₀}
Capacitate	Farad	F	1 F = 10 ⁻⁹ CGS _{μ₀}
Cîmp electric	Volt pe metru	V/m	1 V/m = 10 ⁶ CGS _{μ₀}
Unități magnetice derivate			
Flux de inducție magnetică	Weber	Wb	1 Wb = 10 Mx (maxwell)
Inducție magnetică	Tesla*	T	1 T = 10 ⁴ Gs (unitate CGS _{μ₀} numită gauss)
Intensitatea cîmpului mag- netic	Amper pe metru sau Amper- spiră pe metru	A/m sau Asp/m	1 Asp/m = 4π10 ⁻³ Oe (Oersted)
Inductanță	Henry	H	1 H = 10 ⁹ CGS _{μ₀}
Unități suplimentare			
Unghi plan	Radian	rad	La fel ca în SI
Unghi solid	Steradian	sr	La fel ca în SI

* Se precizează că $1 \text{ T} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

CAPITOLUL VII

CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV MONOFAZAT

În practică, rețelele și instalațiile electrice, care se întâlnesc cel mai frecvent sînt cele de curent alternativ, în special pentru motivul că tensiunea electrică alternativă poate fi destul de ușor mărită sau micșorată după nevoie, astfel cum se va arăta la capitolul XIII. Rețelele de curent continuu și instalațiile electrice respective se întâlnesc mai rar în practică, de obicei în industria electrochimică, tracțiunea electrică ș.a. Pentru motivele arătate, studiul curentului alternativ are o deosebită importanță.

1. PRODUCEREA CURENTULUI ALTERNATIV

Se consideră în cîmp magnetic al unui magnet o spirală care se rotește în jurul axei sale OO' cu viteză unghiulară constantă ω^* (fig. 7-1).

Capetele spirei sînt legate la două inele metalice I_1 și I_2 solidare cu spira și pe care freacă periile conductoare P_1 și P_2 fixe în spațiu.

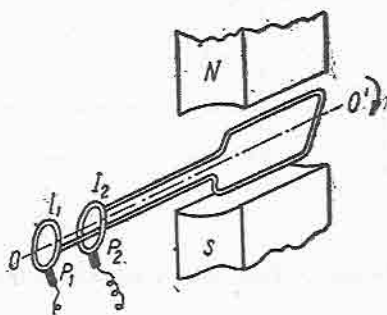


Fig. 7-1. Spira învîrtitoare în cîmp magnetic.

* Literă mică grecească ce se citește „omega”.

În figura 7-2, *a* s-au reprezentat diversele poziții ale spirei în raport cu liniile de forță ale cimpului magnetic. Spre *a* se putea deosebi cele două fețe ale planului spirei, acestea s-au desenat prin linii de grosimi diferite. În poziția 1 (fig. 7-2, *a*) spira este presupusă orizontală, fiind străbătută de

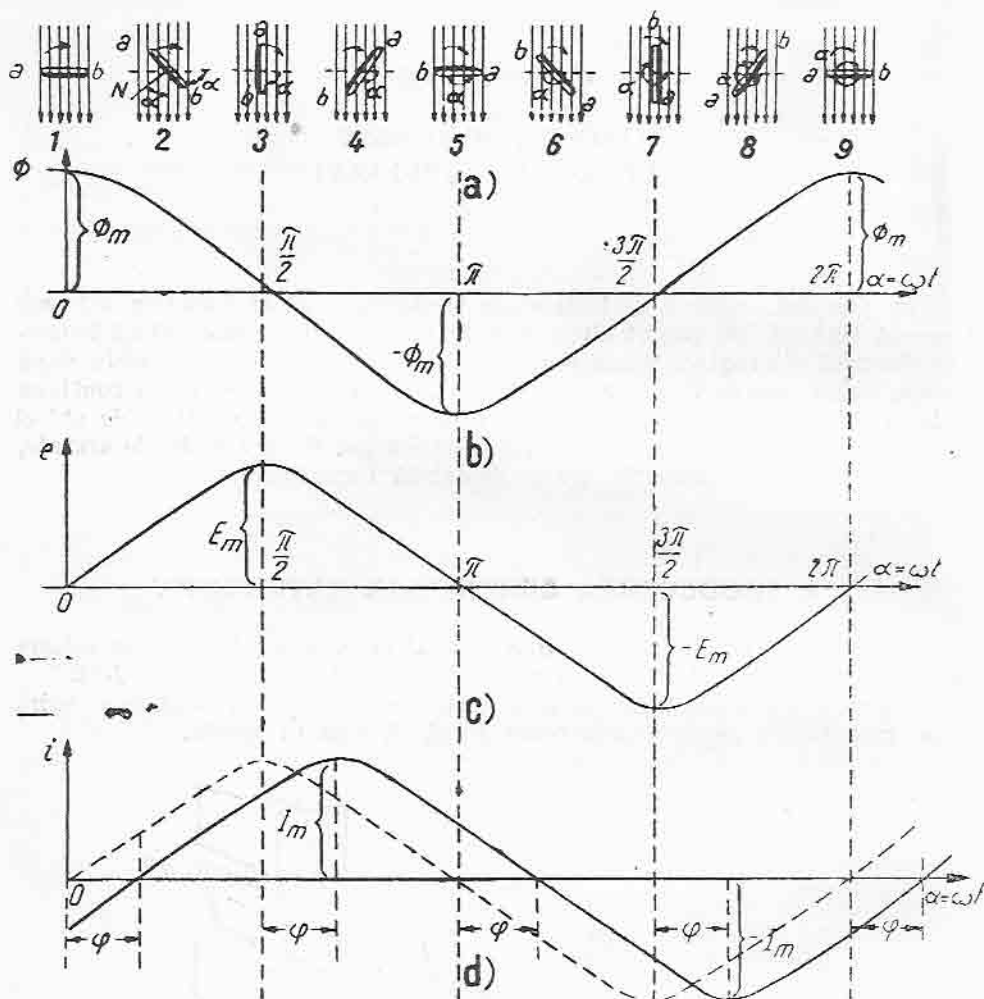


Fig. 7-2. Inducerea curentului alternativ într-o spirală învârtitoare într-un cîmp magnetic

cel mai mare număr de linii de forță, adică fluxul magnetic maxim. Pe măsură ce spira se rotește (poziția 2), fluxul magnetic care o străbate scade, iar în poziția 3, fluxul magnetic prin planul spirei se anulează.

După poziția 3, liniile de forță încep să intre prin cealaltă față a planului spirei, adică *fluxul magnetic a devenit negativ* (poziția 4) și scade din ce în ce, până când în poziția 5 devine minim (sau maxim negativ). După poziția 5, fluxul rămâne negativ, dar crește (poziția 6), pentru ca în poziția 7 să se anuleze din nou. Apoi liniile de forță își schimbă din nou fața de intrare în planul spirei, adică fluxul redevine pozitiv (poziția 8) și crește până ajunge din nou maxim în poziția 9, care este identică cu poziția 1. Apoi ciclul se repetă periodic. Dacă se notează cu α^* unghiul planului spirei dintr-o poziție oarecare cu planul spirei din poziția 1 — ca în figură — și cu t timpul care a trecut din momentul când spira era în poziția 1 și până în momentul corespunzător unghiului α , se poate scrie :

$$\alpha = \omega t$$

unde timpul t este considerat în secunde, viteza unghiulară ω a spirei în, radiani pe secundă, iar unghiul α , în radiani.

În poziția 1 a spirei (fig. 7-2, a) fluxul magnetic este maxim, iar valoarea lui (cap. IV) este egală cu :

$$\Phi_m = B \cdot S, \quad (7.1)$$

unde B este valoarea inducției magnetice, iar S suprafața închisă de spirală.

Formula aceasta a fluxului magnetic este valabilă însă numai dacă liniile magnetice sînt perpendiculare pe planul spirei.

De cele mai multe ori, în timpul rotației spirei, liniile magnetice nu păstrează această perpendicularitate, astfel încît formula nu mai este valabilă. Regula generală, care dă valoarea fluxului magnetic Φ în toate cazurile este următoarea : *fluxul magnetic este egal cu produsul dintre inducția magnetică, suprafața spirei și cosinusul unghiului pe care-l face direcția liniilor magnetice cu normala (perpendiculara) la planul spirei*. În figura 7-2, a poziția 2, s-a notat cu N normala la planul spirei. Se vede că unghiul pe care-l face această normală cu direcția liniilor magnetice este α . În consecință, formula care dă valoarea fluxului magnetic în toate cazurile este :

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = \Phi_m \cdot \cos \alpha = \Phi_m \cdot \cos \omega t. \quad (7.2)$$

Variația fluxului magnetic Φ în funcție de unghiul $\alpha = \omega t$ este reprezentată grafic prin *cosinoidă* din figura 7-2, b.

Deoarece fluxul magnetic are o variație cosinusoidală (în general se spune *sinusoidală*, dat fiind că sinusoida este o cosinusoidă deplasată cu un unghi $\alpha = \pi/2$), fluxul prin spirală se numește *flux magnetic alternativ sinusoidal*, sau, pe scurt, *flux magnetic alternativ*.

Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, în spirală ia naștere o forță electromotoare de inducție e , a cărei valoare este dată de legea inducției electromagnetice; această forță electromotoare este, de asemenea, variabilă după o lege similară cu aceea a variației fluxului.

* Literă grecească ce se citește „alfa“.

Legea de variație a forței electromotoare de inducție este:

$$e = E_m \sin \omega t, \quad (7.3)$$

în care s-a notat cu E_m valoarea maximă a forței electromotoare de inducție, valoare dată de relația:

$$E_m = \omega \Phi_m.$$

Relația (7.3) arată că forța electromotoare e variază sinusoidal în funcție de $\alpha = \omega t$. Din această cauză se numește forța electromotoare *alternativă sinusoidală* sau, pe scurt, forța electromotoare alternativă.

Variația forței electromotoare în funcție de $\alpha = \omega t$ este reprezentată în figura 7-2, c.

Se observă în figurile 7-2, b și 7-2, c că sinusoida care reprezintă forța electromotoare este deplasată spre dreapta cu intervalul $\pi/2$ față de sinusoida care reprezintă fluxul magnetic. Se spune că forța electromotoare e este în întârziere, sau *defazată*, în urma fluxului Φ cu unghiul $\pi/2$. Se poate spune și invers: fluxul magnetic este în *avans* sau defazat înaintea forței electromotoare e cu unghiul $\pi/2$.

În general, dacă două mărimi alternative sinusoidale nu au punctele de maxim, minim și zero simultane, ele se numesc defazate.

Dacă două mărimi alternative sinusoidale nu sînt defazate una față de alta, se spune că sînt în *fază*. De exemplu sinusoida trasată punctat în figura 7-2, d este în fază cu sinusoida forței electromotoare e din figura 7-2 c.

Dacă cele două perii din figura 7-1 se leagă între ele printr-un conductor, forța electromotoare e , schimbîndu-și în mod alternativ sensul, va face ca electronii din circuit să se deplaseze de asemenea în mod alternativ, cînd într-un sens cînd în sens contrar, adică se va produce un curent electric, care va fi tot *alternativ sinusoidal*.

De obicei, după cum se va vedea, din cauza anumitor proprietăți ale circuitului electric, sinusoida curentului nu este în fază cu sinusoida forței electromotoare, ci are un anumit unghi de defazaj φ^* , de cele mai multe ori în urma forței electromotoare, astfel încît expresia care reprezintă sinusoida curentului i este:

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (7.4)$$

în care I_m este valoarea maximă a curentului iar φ defazajul său în urma forței electromotoare. Sinusoida curentului este reprezentată în figura 7-2, d (trăsătură plină) deplasată spre dreapta cu unghiul φ față de sinusoida forței electromotoare e din figura 7-2, c.

Dacă curentul ar fi fost defazat înaintea forței electromotoare cu unghiul φ , formula lui ar fi fost:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (7.5)$$

iar sinusoida curentului din figura 7-2, d ar fi trebuit deplasată spre stînga cu unghiul φ față de sinusoida forței electromotoare.

* Literă grecească ce se citește „fi”.

După cum există forțe electromotoare alternative, există și *tensiuni alternative*. Se poate explica expresia tensiunii alternative pornind de la circuitele de curent continuu.

Dacă printr-un conductor de rezistență R trece un curent *continuu* I , la capetele acestui conductor există o tensiune *continuă*:

$$U = R \cdot I.$$

În mod analog, dacă printr-un conductor de rezistență R trece un curent *alternativ* $i = I_m \sin \omega t$, la capetele conductorului există o tensiune *alternativă*:

$$u = R \cdot i = R \cdot I_m \sin \omega t.$$

Valoarea maximă a acestei tensiuni alternative este:

$$U_m = R \cdot I_m$$

astfel încît formula tensiunii alternative devine:

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (7.6)$$

Mărimile electrice alternative sinusoidale, care se întîlnesc mai des sînt: tensiunea, curentul, forța electromotoare și fluxul magnetic.

Un dispozitiv care poate produce curent alternativ pe baza fenomenelor explicate mai înainte este *magnetoul*, a cărui funcționare rezultă din figura 7-3. Între polii N și S ai unui magnet permanent se rotește cu ajutorul unei manivele (nedeșenată) un miez de oțel, în jurul căruia se găsește înfășurat bobinajul B din sîrmă izolată. În fiecare spirală a acestui bobinaj ia naștere cîte o forță electromotoare alternativă de inducție. La bornele întregului bobinaj apare o forță electromotoare rezultată din suma tuturor forțelor electromotoare corespunzătoare spirelor bobinajului.

Dacă se leagă printr-un conductor cele două borne, în circuitul astfel format va trece un curent alternativ. Întrerupîndu-se brusc acest

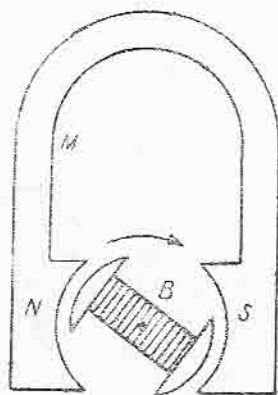


Fig. 7-2. Principiul de funcționare al magnetoului

circuit (printr-un dispozitiv special), apare o scînteie electrică ce poate servi, de exemplu, pentru aprinderea combustibilului din cilindrul unui motor cu ardere internă.

Există și alte tipuri de magnetouri, îndeplinind diferite funcțiuni.

CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE MĂRIMILOR ELECTRICE ALTERNATIVE SINUSOIDALE

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare *instantanee*, care este valoarea la un moment dat. De exemplu, pentru curentul alternativ :

$$i = I_m \sin \omega t$$

valoarea instantanee este i , reprezentată prin sinusoida din figura 7-4.

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare maximă numită *amplitudine*. În cazul curentului alternativ, amplitudinea este I_m .

După un interval de timp care corespunde unghiului :

$$\alpha = \omega \cdot t = 2\pi,$$

valorile unei mărimi electrice alternative încep să se repete. Acest timp notat cu T se numește *perioadă* și rezultă din relația :

$$\omega \cdot T = 2\pi$$

adică :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (7.7)$$

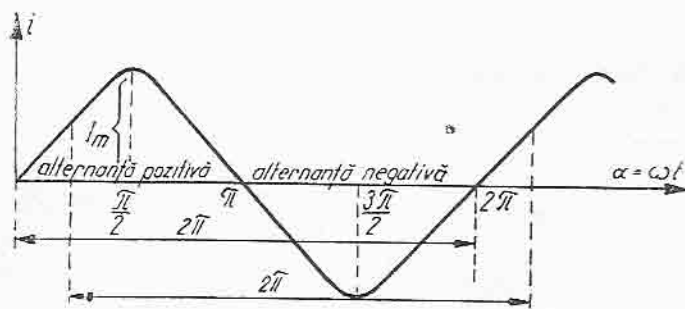


Fig. 7-4. Caracteristicile curentului alternativ.

Numărul care arată de câte ori se repetă într-o secundă toate valorile dintr-o perioadă poartă numele de *frecvență* și se notează cu f , măsurându-se în *perioade pe secundă* sau *hertzi* (Hz).

Curentul electric din rețeaua orașului București are o frecvență de 50 Hz, care este o valoare standardizată. Între frecvența f și perioada T există relația :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (7.8)$$

Mărimea ω poartă numele de *pulsatie* și se măsoară în radiani pe secundă (rad/s). Din relația (7.8) rezultă că între pulsație și frecvență există următoarea relație :

$$\omega = 2\pi \cdot f.$$

Pentru frecvența standardizată de 50 Hz, pulsația este :

$$\omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ rad/s.}$$

O perioadă T se împarte în două semiperioade, corespunzând fiecare unui unghi $\alpha = \omega t = \pi$. Sinusoida corespunzând unei perioade se împarte în două *alternanțe*, una pozitivă și alta negativă.

Fiecare mărime electrică alternativă se caracterizează prin valoare instantanee, amplitudine, perioadă, frecvență, pulsație, alternanțe.

În practică este necesar ca mărimile electrice alternative să fie măsurate. Fiind variabile în timp, trebuie să se găsească o valoare care să poată fi ușor măsurată și să caracterizeze în același timp mărimea alternativă respectivă.

Pentru aceasta s-a ales o valoare, numită *valoarea eficace* (sau efectivă). Prin valoarea eficace a intensității unui curent alternativ, se înțelege valoarea unui curent continuu care, trecând printr-o rezistență produce aceeași cantitate de căldură (are aceeași eficacitate termică) pe care o produce curentul alternativ în același interval de timp.

Între valoarea maximă I_m a unui curent alternativ și valoarea sa eficace I există relația :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1,41} = 0,707 I_m. \quad (7.10)$$

Prin analogie, valoarea eficace a oricărei mărimi electrice alternative este egală cu valoarea sa maximă divizată prin $\sqrt{2}$. De obicei, valorile instantanee ale mărimilor electrice alternative se notează prin litere mici, valorile eficace prin litere mari, iar valorile maxime, prin litere mari urmate de indicele m .

Ampermetrele și voltmetrele care servesc pentru măsurarea curentului alternativ, respectiv a tensiunii alternative (v. cap. XI) sînt astfel construite, încît indică valorile eficace. În vorbirea curentă, cînd se spune, de exemplu, că o tensiune alternativă are 220 V, se subînțelege valoarea sa eficace.

Aplicația 7-1. Se presupune, în figura 7-1, că inducția magnetică a cîmpului $B = 1,5$ T, viteza unghiulară a spirei $\omega = 314$ rad/s, suprafața spirei învîrtoare $S = 40$ cm², rezistența electrică a spirei $R_s = 0,5$ Ω , iar rezistența conductorului care leagă perile $R_c = 1,5$ Ω . Se cere fluxul magnetic Φ_m și fluxul eficient Φ prin spirală, forța electromotoare maximă E_m și forța electromotoare eficientă E în spirală, intensitatea maximă I_m și intensitatea eficientă I a curentului în circuit, tensiunea maximă U_m și tensiunea eficientă U între perii, frecvența f și perioada T .

Rezolvare: Din relațiile arătate mai înainte rezultă:

$$\Phi_m = B \cdot S = 1,5 \cdot 0,04 = 0,06 \text{ Wb};$$

$$\Phi = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{0,06}{1,41} = 0,042 \text{ Wb}$$

$$E_m = \omega \cdot \Phi_m = 314 \cdot 0,06 = 18,84 \text{ V};$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{18,84}{1,41} = 13,32 \text{ V}$$

$$R_s + R_c = R_t = 0,5 + 1,5 = 2 \Omega$$

$$I_m = \frac{E_m}{R_t} = \frac{18,84}{2} = 9,42 \text{ A};$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{9,42}{1,41} = 6,66 \text{ A}$$

$$U_m = R_c \cdot I_m = 1,5 \cdot 9,42 = 14,13 \text{ V};$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{14,13}{1,41} = 9,99 \text{ V}.$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3,14} = 50 \text{ Hz};$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}.$$

3. EFECTELE CURENTULUI ALTERNATIV

Ca și curentul continuu, curentul alternativ, trecînd printr-un conductor, îl încălzește. Acesta este *efectul termic* al curentului alternativ. O serie de aparate funcționează pe baza acestui efect termic: radiatoare, încălzitoare, fiare de căleat, cupatoare.

De asemenea, ca și în cazul curentului continuu, dacă se încălzește un fir metalic pînă la incandescență cu curent alternativ, firul devine luminos. Pe *efectul luminos* al curentului alternativ se bazează funcționarea lămpilor electrice.

Curentul alternativ produce în jurul său un cîmp magnetic alternativ. Inducția magnetică a acestui cîmp este și ea alternativă.

Un electromagnet alimentat în curent alternativ produce în jurul său un cîmp magnetic alternativ. S-a arătat că forța portantă a electromagnetului este proporțională cu pătratul inducției magnetice (B^2). În cazul curentului alternativ, deși inducția magnetică își schimbă periodic semnul, pătratul valorii sale rămîne însă mereu pozitiv, astfel încît forța portantă nu-și schimbă sensul. Din această cauză, un electromagnet cu curent alternativ poate atrage piese de oțel.

Din cele de mai înainte, rezultă că și curentul alternativ produce *efecte magnetice*.

În miezul de oțel al unei bobine de curent alternativ se produc pierderi prin curenți turbionari și prin fenomenul de histeresis, din cauza variației cîmpului magnetic.

Ca și curentul continuu, curentul alternativ produce *efecte fiziologice*, atunci cînd trece prin corpul unei viețuitoare.

Curentul alternativ, variind periodic ca valoare și ca sens, nu poate fi utilizat la încărcarea acumulatorilor, în electroliză și, în general, pentru producerea de efecte chimice.

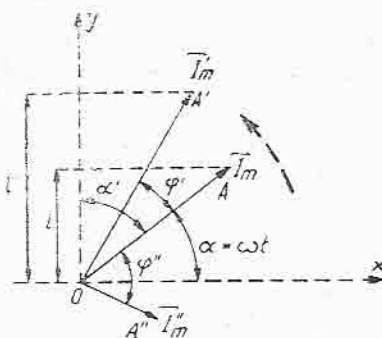
4. REPREZENTAREA VECTORIALĂ A MĂRIMILOR ELECTRICE ALTERNATIVE SINUSOIDALE

Se presupune că printr-un conductor trece curentul alternativ :

$$i = I_m \sin \omega t.$$

În figura 7-5 se consideră două axe rectangulare xOy și se trasează un vector \overline{OA} , avînd, la o anumită scară, o lungime egală cu I_m . Se presupune că vectorul \overline{OA} se rotește în sens trigonometric în jurul originii O (sen-

Fig. 7-5. Reprezentarea vectorială cu axe de coordonate.



sul săgeții trasate întrerupt) cu o viteză unghiulară constantă egală cu pulsația ω a curentului. Unghiul format de vectorul \overline{OA} , după timpul t , cu axa Ox este :

$$\alpha = \omega t.$$

Proiecția vectorului $\overline{OA} = I_m$ pe axa Oy este

$$I_m \cos \alpha',$$

unde α' este unghiul dintre I_m și Oy . Deoarece unghiul α' este complementar cu α , rezultă :

$$\cos \alpha' = \sin \alpha.$$

În consecință, proiecția vectorului pe axa Oy este :

$$I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t,$$

adică este egală cu valoarea instantanee a curentului alternativ i . Deoarece în timpul rotației sale, proiecția vectorului \vec{I}_m pe axa Oy este mereu egală cu valoarea curentului alternativ i , se poate considera ca vectorul \vec{I}_m reprezintă acest curent. Pe această constatare se bazează reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative.

Se consideră un alt curent alternativ :

$$i' = I'_m \sin(\omega t + \varphi')$$

defazat cu unghiul φ' în avans față de i . Curentul i' poate fi de asemenea reprezentat printr-un alt vector $\vec{OA}' = \vec{I}'_m$ care face unghiul $\omega t + \varphi'$ cu axa Ox , sau unghiul φ' cu vectorul \vec{I}_m . Amândoi vectorii \vec{I}_m și \vec{I}'_m se rotesc cu aceeași viteză unghiulară ω în jurul originii O , totdeauna însă \vec{I}'_m găsindu-se în avans față de \vec{I}_m , cu unghiul φ' .

Se consideră un al treilea curent alternativ :

$$i'' = I''_m \sin(\omega t - \varphi'')$$

în întârziere cu unghiul φ'' față de curentul i . Curentul i'' este reprezentat prin vectorul $\vec{OA}'' = \vec{I}''_m$, care face cu \vec{I}_m unghiul φ'' în sens negativ (sensul orar pe figură).

În practică, pentru reprezentarea simbolică a celor trei curenți alternativi i , i' și i'' prin vectorii \vec{I}_m , \vec{I}'_m și \vec{I}''_m , nu se mai trasează și axele de coordonate xOy , deoarece ar complica inutil figura. Vectorul $\vec{OA} = \vec{I}_m$ corespunzător curentului i , de la care s-au socotit unghiurile de defazaj, poartă numele de *origine de fază* și de multe ori, se trasează orizontal. Direcțiile celorlalți vectori rezultă în raport cu unghiurile lor de defazaj față de originea de fază (fig. 7-6).

Reprezentarea vectorială se poate aplica în mod analog și pentru celelalte mărimi alternative. Cu ajutorul reprezentării vectoriale se pot înlocui de multe ori calcule trigonometrice mai complicate, printr-o construcție grafică simplă.

Se presupune de exemplu, că, la un nod oarecare dintr-o rețea (fig. 7-7), vin prin trei conductoare curenții alternativi :

$$i_1 = I_{m1} \sin \omega t$$

$$i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi')$$

$$i_3 = I_{m3} \sin(\omega t - \varphi'')$$

și se caută curentul i în al patrulea conductor, care pleacă de la același nod.

Prin calcul, ar trebui să se găsească suma :

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = I_{m1} \sin \omega t + I_{m2} \sin(\omega t + \varphi') + I_{m3} \sin(\omega t - \varphi'').$$

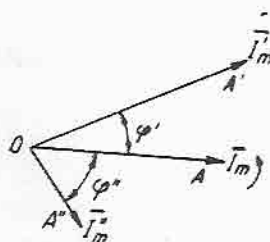


Fig. 7-6. Representarea vectorială fără axe de coordonate

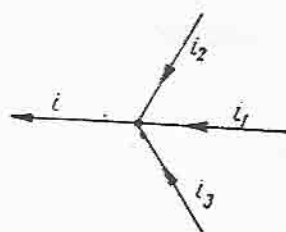


Fig. 7-7. Curenți alternativi la un nod.

Acest calcul destul de complicat, se poate înlocui printr-o construcție grafică. În figura 7-8, curenții i_1 , i_2 și i_3 s-au reprezentat prin vectorii I_{m1} , I_{m2} și I_{m3} cu lungimi corespunzătoare scării alese pentru intensitatea curenților. Vectorul I_{m1} a fost ales ca origine de fază. Se compun grafic vectorii I_{m1} și I_{m2} obținind rezultanta I'_m . Se compune I'_m cu I_{m3} , obținându-se rezultanta totală I_m . Această rezultantă totală reprezintă curentul alternativ ;

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

care este suma algebrică a curenților i_1 , i_2 și i_3 .

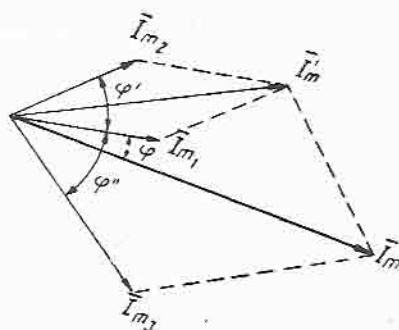


Fig. 7-8. Compunerea vectorială a curenților alternativi.

Valoarea maximă I_m a curentului rezultat se obține măsurind lungimea vectorului I_m și ținând seamă de scara grafică aleasă pentru intensitatea curenților. Unghiul φ , care reprezintă defazajul curentului i față de originea de fază, se măsoară de asemenea pe figură.

Pe aceeași diagramă vectorială toți vectorii trebuie să corespundă unor mărimi electrice alternative cu aceeași pulsație sau frecvență, deoarece numai în acest caz unghiurile dintre vectori rămân constante.

5. CONDENSATORUL ÎN CAZUL CURENTULUI ALTERNATIV

Se consideră un condensator legat la o sursă de curent alternativ. La un moment dat, una dintre armături, cea din dreapta de exemplu, este legată la potențialul negativ al sursei, iar cealaltă armătură, la potențialul pozitiv. Ca urmare a circulației electronilor între sursă și armături, armătura din dreapta se încarcă cu sarcini negative, iar armătura din stânga, cu sarcini pozitive. După ce se schimbă alternanța tensiunii dată de sursă, armătura din stânga se va găsi la un potențial negativ, iar armătura din dreapta, la un potențial pozitiv: electronii vor circula prin conductoare în sens invers. În acest timp, condensatorul se descarcă și apoi se reîncarcă cu armătura din dreapta pozitivă și armătura din stânga negativă. După altă schimbare a alternanței, se va produce din nou o circulație de electroni în sens invers ș.a.m.d. Concluzia finală este că un condensator lasă să treacă curentul alternativ prin circuitul din care face parte.

6. CIRCUITUL DE CURENT ALTERNATIV CU REZISTENȚĂ, INDUCTIVITATE ȘI CAPACITATE ÎN SERIE

Se consideră un circuit cu o sursă de curent alternativ format dintr-o rezistență totală R în exteriorul sursei (în cazul curentului alternativ rezistența R se numește și rezistență activă), din mai multe bobine de inductivitate totală L și din mai multe condensatoare de capacitate totală C . Se consideră, de asemenea, că rezistența R , inductivitatea L și capacitatea C sînt legate în serie (fig. 7-9).

Dacă valoarea eficace a tensiunii la bornele sursei este U , iar pulsația sa ω , formula care dă valoarea eficace a curentului ce trece prin circuit este:

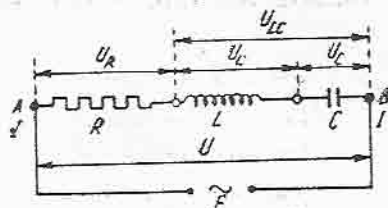
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (7.11)$$

Expresia :

$$\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z \quad (7.12)$$

se numește *impedanța circuitului* și se măsoară în ohmi.

Fig. 7-9. Circuitul de curent alternativ cu rezistență inductivă și capacitate în serie.



Expresia :

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = X \quad (7.13)$$

se numește *reactanța totală* a circuitului, din care $L\omega$ este *reactanța inducivă*, iar $1/C\omega$ este *reactanța capacivă*. Reactanțele se măsoară de asemenea în ohmi. Se poate scrie deci și :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}, \quad (7.14)$$

care reprezintă o lege analogă legii lui Ohm în curent alternativ.

Unghiul de defazaj φ între tensiunea U și curentul I rezultă din :

$$\left. \begin{aligned} \cos\varphi &= \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \\ \text{sau} \\ \operatorname{tg}\varphi &= \frac{X}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \end{aligned} \right\} \quad (7.15)$$

Formulele (7.11), (7.14) și (7.15) sînt generale, fiind valabile și în orice caz particular : dacă în circuit există numai rezistența R , se anulează termenii care cuprind L și C , dacă există numai L , se anulează termenii care cuprind R și C etc.

Se presupune, de exemplu, că există numai R (fig. 7-10). În acest caz, aplicînd formula generală, se obține :

$$I = \frac{U}{R}, \quad (7.16)$$

$$\cos\varphi = 1; \quad \operatorname{tg}\varphi = 0 \quad (7.17)$$

Deci : $\varphi = 0$.

Din relația (7.16) rezultă :

$$U = RI$$

adică valoarea eficace a tensiunii la bornele unei rezistențe este egală cu produsul dintre valoarea rezistenței și valoarea eficace a curentului prin rezistență.

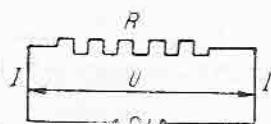


Fig. 7-10. Circuit de curent alternativ cu rezistență.

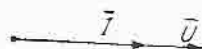


Fig. 7-11 Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistență.

Deoarece $\varphi = 0$, rezultă că o rezistență R nu defazează curentul alternativ care o parcurge, față de tensiunea alternativă la bornele rezistenței.

Se vede că în cazul unei rezistențe se regăsește legea lui Ohm din curent continuu.

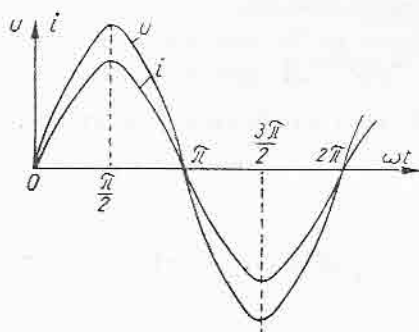


Fig. 7-12. Variația tensiunii U și a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistență.

În figura 7-11 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii U la bornele unei rezistențe și a curentului I ce o parcurge. În figura 7-12 se arată sinusoidale care reprezintă variația valorilor instantanee respective ale tensiunii u și curentului i .

Dacă circuitul cuprinde numai o inductivitate L (fig. 7-13), forma generală devine :

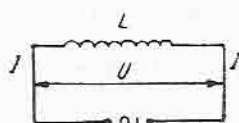


Fig. 7-13. Circuit de curent alternativ cu inductivitate.

iar :

$$I = \frac{U}{L\omega}, \quad (7.19)$$

$$\cos\varphi = 0, \quad \operatorname{tg}\varphi = \infty \quad \text{și deci} \quad \varphi = \frac{\pi}{2} \quad (7.20)$$

Din relația (7.19) rezultă :

$$U = L\omega I \quad (7.21)$$

adică valoarea eficace a tensiunii la bornele unei inductivități este egală cu produsul dintre valorile inductivității L , valoarea pulsației ω și valoarea eficace a curentului I prin inductivitate.

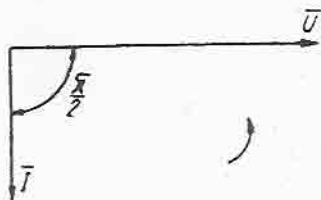


Fig. 7-14. Diagrama vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductivitate.

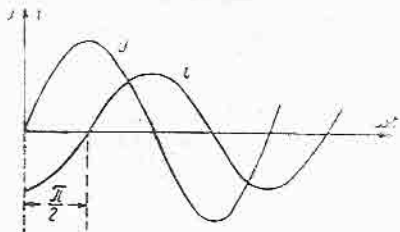


Fig. 7-15. Variația tensiunii U și a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductivitate.

Din relația (7.20) rezultă că o inducție defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul $\pi/2$ în urma tensiunii la bornele inductivității.

În figura 7-14 se arată diagrama vectorială corespunzătoare pentru curent și tensiune, iar în figura 7-15, sinusoidale curentului și tensiunii în cazul inductivității.

Dacă circuitul de curent alternativ cuprinde numai o capacitate C (fig. 7-16), valoarea eficace a curentului este :

$$I = UC\omega, \quad (7.22)$$

iar :

$$\cos\varphi = 0; \quad \operatorname{tg}\varphi = -\infty \quad \text{și deci} \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}. \quad (7.23)$$

Din relația (7.22) rezultă :

$$U = \frac{I}{C\omega}, \quad (7.24)$$

adică : valoarea eficace a tensiunii alternative la bornele unei capacități C este egală cu raportul dintre valoarea I a curentului ce trece prin capacitatea și produsul $C\omega$, unde ω este pulsația tensiunii.

Din relația (7.23) rezultă că o capacitate defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul $\pi/2$ în avans față de tensiunea alternativă la bornele capacității.

În figura 7-17 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii U la bornele unei capacități și a curentului I ce o parcurge. În figura 7-18 se arată sinusoidale care reprezintă variația valorilor instantanee ale tensiunii U și, respectiv, a curentului i .

Cunoscând diagramele vectoriale pentru cazurile particulare reprezentate în figurile 7-11, 7-14 și 7-17 se poate trasa diagrama vectorială în cazul general când în circuit se găsesc legate în serie (fig. 7-9) o rezistență R , inductivitate L și o capacitate C .



Fig. 7-16. Circuit de curent alternativ cu capacitate.

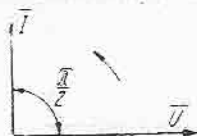
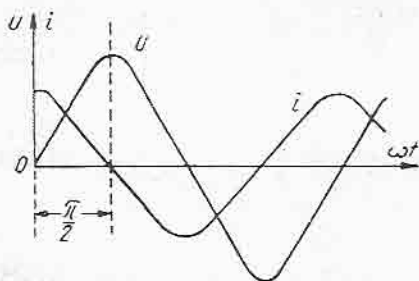


Fig 17-17. Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

În figura 7-19 s-a notat cu I valoarea eficace a vectorului reprezentând curentul care parcurge circuitul, iar cu $U_R = RI$ valoarea eficace a vectorului reprezentând tensiunea la bornele rezistenței (în fază cu curentul I) cu $U_L = L\omega I$ s-a notat valoarea vectorului care reprezintă tensiunea la bornele inductivității L (tensiunea care este defazată cu unghiul $\pi/2$ înaintea curentului I); de asemenea, s-a notat cu $U_C = I/C\omega$ valoarea eficace a vectorului care reprezintă tensiunea la bornele capacității (tensiune defazată cu unghiul $\pi/2$ în urma curentului I).



Figl 7-18 Variația tensiunii U și a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

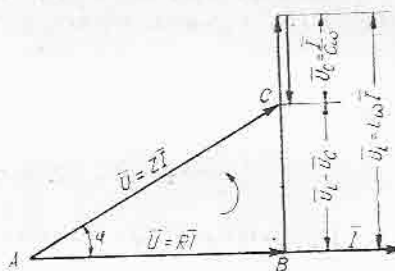


Fig. 7-19. Diagrama vectorială pentru un circuit de curent alternativ cu rezistență, inductivitate și capacitate în serie.

Compunând vectorii care reprezintă tensiunile U_R , U_L și U_C , se obține tensiunea totală U la bornele circuitului. Vectorii U_L și U_C găsindu-se pe aceeași direcție, vectorul rezultat respectiv are valoarea $U_L - U_C$, după cum reiese din figură. Compunând acest vector $U_L - U_C$ cu vectorul U_R , se obține vectorul U , care reprezintă tensiunea la bornele circuitului.

Triunghiul dreptunghi ABC se numește *triunghiul tensiunilor*. Din acest triunghi rezultă relațiile (7.11) și (7.15).

Aplicația 7-2. Într-un circuit se leagă în serie un încălzitor cu rezistența $R=400 \, \Omega$, o bobină avînd o inductivitate $L=1 \, \text{H}$ și o rezistență neglijabilă și un condensator cu o capacitate $C=100 \, \mu\text{F}$. Acest circuit este alimentat de la o sursă de curent alternativ, care menține la bornele circuitului o tensiune eficace $U=380 \, \text{V}$ cu o frecvență $f=50 \, \text{Hz}$. Care este valoarea eficace I a curentului din circuit și care este cosinusul unghiului de defazaj φ între curent și tensiune?

Rezolvare: Valoarea pulsației este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \, \text{rad/s}$$

Valoarea eficace a curentului este:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} =$$

$$= \frac{380}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{380}{490} = 0,78 \, \text{A}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{400}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{400}{490} = 0,82.$$

7. CIRCUIT DE CURENT ALTERNATIV CU REZISTENȚĂ, INDUCTIVITATE ȘI CAPACITATE ÎN PARALEL

În figura 7-20 se arată un circuit care cuprinde: o rezistență R , o inductivitate L și un condensator de capacitate C , legate în paralel. O sursă de curent alternativ cu pulsația ω produce la bornele acestui circuit o tensiune alternativă U de pulsație ω . Pentru a afla valoarea eficace I a curentului produs de sursă, se trasează diagrama vectorială din figura 7-21, luîndu-se ca origine de fază vectorul tensiunii U . Curentul care trece prin rezistență este dat de:

$$I_R = \frac{U}{R},$$

și este reprezentat de un vector în fază cu \bar{U} , după cum se vede și pe figură. Curentul care trece prin inductivitate este dat de:

$$I_L = \frac{U}{L\omega},$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul $\pi/2$ în urma vectorului \vec{U} . Curentul care trece prin capacitate rezultă din :

$$I_C = UC\omega$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul $\pi/2$ înaintea vectorului \vec{U} .

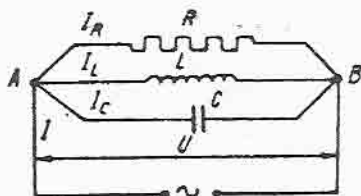


Fig. 7-20. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductivitate și capacitate în paralel.

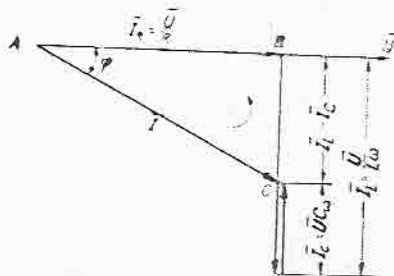


Fig. 7-21. Diagrama vectorială a schemei din figura 7-20.

Vectorul care reprezintă curentul I produs de sursă rezultă din compunerea vectorilor \vec{I}_R , \vec{I}_L și \vec{I}_C , astfel după cum se vede pe diagramă.

Triunghiul dreptunghic ABC se numește *triunghiul curenturilor*. Din acest triunghi rezultă valoarea curentului dat de sursă :

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}. \quad (7.24)$$

Unghiul de defazaj φ dintre I și U rezultă din același triunghi dreptunghic :

$$\left. \begin{aligned} \cos\varphi &= \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}} \\ \operatorname{tg}\varphi &= \frac{\frac{1}{L\omega} - C\omega}{\frac{1}{R}} \end{aligned} \right\} \quad (7.25)$$

Formulele (7.24) și (7.25) sînt valabile pentru cazul general (circuit cu rezistență, inductivitate și capacitate în paralel). Dacă nu există conductorul cu rezistența R , se anulează termenul care cuprinde pe R , dacă nu există inductivitatea L se anulează termenul care cuprinde pe L etc.

Se presupune că în schema din figura 7-20 lipsește între punctele A și B conductorul de rezistență R (aceasta înseamnă în realitate că între aceste puncte rezistența electrică este foarte mare, teoretic infinită). În acest caz, curentul total va fi dat de relația :

$$I = U \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega \right).$$

De asemenea, unghiul de defazaj între I și U se obține din :

$$\cos \varphi = 0,$$

sau:

$$\operatorname{tg} \varphi = \infty.$$

Rezultă că curentul I este defazat cu unghiul $\pi/2$ față de tensiunea U . Dacă :

$$\frac{1}{L\omega} - C\omega > 0$$

înseamnă că

$$\varphi = +\frac{\pi}{2},$$

iar curentul este defazat în urma tensiunii. Dacă :

$$\frac{1}{L\omega} - C\omega < 0$$

înseamnă că :

$$\varphi = -\frac{\pi}{2},$$

iar curentul este defazat înaintea tensiunii U .

Se presupune acum că în schema din figura 7-20 lipsește între punctele A și B inductivitatea L . Curentul total va fi dat de :

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + C^2\omega^2}.$$

Unghiul de defazaj rezultă din :

$$\cos \varphi = \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + C^2\omega^2}}$$

sau :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-C\omega}{\frac{1}{R}},$$

ceea ce arată că unghiul de defazaj este negativ și deci curentul I este defazat înaintea tensiunii U .

Dacă în schema din figura 7-20 nu este condensator între punctele A și B , aceasta echivalează cu situația când ar exista totuși un condensator cu armăturile în A și B , dar de suprafață foarte mică (teoretic de suprafață nulă). Din formula 1—10 rezultă însă că în acest caz capacitatea C este nulă. Curentul total este dat de relația :

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{L^2\omega^2}}.$$

Unghiul de defazaj rezultă din :

$$\cos \varphi = \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{L^2\omega^2}}}$$

sau :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{1}{L\omega}}{\frac{1}{R}} = \frac{R}{L\omega}.$$

ceea ce arată că unghiul de defazaj este pozitiv și deci curentul I este defazat în urma tensiunii U .

Aplicația 7-2. Un circuit electric cuprinde trei ramuri în paralel. Pe una dintre ramuri se găsește un radiator electric cu o rezistență $R=200 \Omega$, pe a doua ramură, o bobină cu o inductivitate $L=0,2 \text{ H}$ și rezistență neglijabilă, iar pe a treia, un condensator cu o capacitate $C=150 \mu\text{F}$. La bornele acestui circuit se aplică o tensiune alternativă de valoare eficace $U=220 \text{ V}$ și frecvența $f=25 \text{ Hz}$. Care este valoarea eficace a curentului total I ? Care este valoarea eficace a curenților I_1 , I_2 și I_3 din fiecare ramură?

Rezolvare. Valoarea pulsației este :

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 = 157 \text{ rad/s}$$

Valoarea eficace a curentului total este :

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2} = 220 \sqrt{\frac{1}{200^2} + \left(\frac{1}{0,2 \cdot 157} - 150 \cdot 10^{-6} \cdot 157\right)^2} = 2,13 \text{ A.}$$

Valoarea eficace a curentului prin rezistență este :

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{220}{200} = 1,1 \text{ A.}$$

Valoarea eficace a curentului prin bobină este:

$$I_2 = \frac{U}{L\omega} = \frac{220}{0,2 \cdot 157} = 7 \text{ A.}$$

Valoarea eficace a curentului prin condensator este:

$$I_3 = UC\omega = 220 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 157 = 5,18 \text{ A.}$$

8. PUTEREA ȘI ENERGIA ELECTRICĂ ÎN CAZUL CURENTULUI ALTERNATIV

Puterea instantanee p într-un circuit la bornele căruia se aplică tensiunea alternativă instantanee u și prin care trece curentul alternativ de valoare instantanee i este:

$$p = u \cdot i \quad (7.26)$$

unde:

$$u = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

și

$$i = \sqrt{2} I \sin (\omega t - \varphi).$$

Puterea instantanee p are o valoare variabilă în timp.

S-a convenit ca în curent alternativ să se denumească *putere activă* media puterii instantanee pe o perioadă. Dacă se face această medie, se găsește că puterea activă este:

$$P = U \cdot I \cos \varphi \quad (7.27)$$

în care U și I sînt valorile eficace ale tensiunii și curentului, iar φ este unghiul de defazaj între curent și tensiune. În consecință, în cazul curentului alternativ, puterea activă este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii, valoarea eficace a curentului și cosinusul unghiului de defazaj între curent și tensiune. Expresia $\cos \varphi$ se numește și *factor de putere*.

Cînd factorul de putere are valoarea sa maximă, adică $\cos \varphi = 1$, puterea devine egală cu produsul $U \cdot I$, care poartă numele de *putere aparentă* și se notează de obicei:

$$S = U \cdot I. \quad (7.28)$$

Puterea aparentă este deci egală cu puterea activă maximă care poate să fie dată de o sursă pentru o anumită tensiune U și un anumit curent I .

Expresia :

$$Q = U \cdot I \sin \varphi \quad (7.29)$$

poartă numele de *putere reactivă*. Între cele trei puteri P , S și Q există relația :

$$S^2 = P^2 + Q^2,$$

deci :

$$P^2 = S^2 - Q^2.$$

Se vede că pentru o anumită putere aparentă S , pe măsură ce crește puterea reactivă Q , scade puterea activă P . Dar, conform cu relația (7.29), puterea reactivă Q crește atunci când crește $\sin \varphi$, deci când crește unghiul de defazaj φ și scade factorul de putere $\cos \varphi$. Consumatorii care au bobine cu inductivități mari (unele mașini electrice, transformatoare ș.a.) defazează mult curentul absorbit, în urma tensiunii (unghi de defazaj mare), astfel încît cer o importantă putere reactivă, făcînd prin aceasta să scadă factorul de putere al sursei care alimentează rețeaua care nu poate da în consecință decît o putere activă P mică. De aici interesul de a avea un factor de putere cît mai mare la consumatori.*

Dacă se măsoară tensiunea U în volți și intensitatea I în amperi, se obține puterea activă în wați, puterea aparentă în *voltamperi* (VA) și puterea reactivă în vari (var). Aceste unități de măsură au ca multipli obișnuiți *kilowattul* (kW), egal cu 1 000 W, *kilovoltamperul* (kVA), egal cu 1 000 VA, și *kilovarul* (kvar), egal cu 1 000 vari.

Deoarece puterea multiplicată cu timpul t , cît durează această putere, dă valoarea energiei respective, rezultă că energia activă și reactivă se vor scrie, respectiv :

$$\left. \begin{aligned} W_P &= P \cdot t = U \cdot I \cos \varphi \cdot t \\ W_Q &= Q \cdot t = U \cdot I \sin \varphi \cdot t \end{aligned} \right\} \quad (7.31)$$

Dacă se măsoară tensiunea în volți, curentul în amperi și timpul în secunde, se obține energia activă în wați-secunde (Ws) sau Jouli (J), energia reactivă în varsecunde (vars). Aceste unități au multipli de 3 600 000 ori mai mari : kilowattora (kWh) și kilovarora (kvarh).

Trebuie relevată contribuția adusă de un colectiv de specialiști români și în special de acad. C.I. Budeanu, la definirea și clarificarea noțiunilor de putere și energie reactivă.

Însăși unitatea de măsură internațională a puterii reactive, varul, își datorește numele acestui colectiv de specialiști în domeniul electricității.

Aplicația 7-4. Care este puterea activă P , puterea reactivă Q și puterea aparentă S absorbită de circuitul din aplicația 7-2 ? Dar energiile activă W_P și reactivă W_Q în două zile ?

R e z o l v a r e. Puterea activă este :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 380 \cdot 0,78 \cdot 0,8 = 237,12 \text{ W} \approx 0,237 \text{ kW}.$$

* Vezi paragr. următor și cap. XX, paragr. 5.

Puterea reactivă este:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 380 \cdot 0,78 \cdot 0,6 = 177,84 \text{ var} \approx 0,178 \text{ kvar.}$$

Puterea aparentă este:

$$S = U \cdot I = 380 \cdot 0,78 = 296,4 \text{ VA} = 0,296 \text{ kVA.}$$

Energia activă este:

$$W_P = P \cdot t = 237,12 \cdot 48 \cdot 3600 = 40\,974\,336 \text{ Ws} = 11,382 \text{ kWh.}$$

Energia reactivă este:

$$W_Q = Q \cdot t = 177,84 \cdot 48 \cdot 3600 = 30\,730\,752 \text{ var s} = 8,536 \text{ kvarh.}$$

9. ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE CU AJUTORUL CONDENSATORULUI

În figura 7-22 este reprezentată o sursă S de curent alternativ, care alimentează cu tensiunea U un receptor *inductiv* (care conține inductivitate și rezistență). Curentul I_1 absorbit de acest receptor este defazat în urma tensiunii U cu unghiul φ . În paralel cu receptorul inductiv se leagă un condensator de capacitate C ca în figură.

Pentru a se vedea efectul condensatorului asupra factorului de putere, se trasează o diagramă vectorială, ca în figura 7-23. Se ia drept origine de fază vectorul tensiunii U . Se trasează apoi vectorul I_1 absorbit de receptorul inductiv.

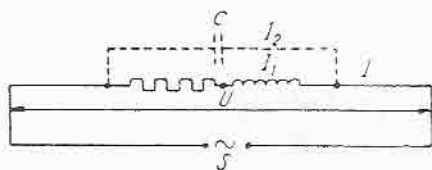


Fig. 7-22. Îmbunătățirea factorului de putere cu ajutorul condensatorului.

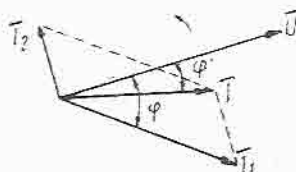


Fig. 7-23. Diagrama vectorială corespunzătoare schemei din figura 7-22.

După cum se știe, curentul I_2 ce trece prin condensator este reprezentat printr-un vector defazat cu unghiul $\pi/2$ înaintea vectorului tensiunii U . Curentul total I se obține din compunerea vectorilor care reprezintă curenții I_1 și I_2 . Se vede din figură că vectorul curentului I este defazat față de tensiunea U cu un unghi φ' mai mic decât unghiul de defazaj φ în cazul cînd

nu există condensator. S-a reușit deci cu ajutorul condensatorului să se obțină un factor de putere $\cos \varphi'$ mai mare decât factorul de putere inițial, $\cos \varphi$. În consecință, condensatorul permite îmbunătățirea factorului de putere. În capitolul XX se dau amănunte asupra avantajelor economice care rezultă în cazul unui factor de putere bun.

Aplicația 7-5. Un motor electric M alimentat cu o tensiune alternativă $U=220$ V, de frecvență $f=50$ Hz, absoarbe un curent de valoare eficace $I_M=16$ A la un factor de putere $\cos \varphi_M=0,6$ (fig. 7-24). Ce capacitate C și ce putere reactivă Q trebuie să aibă condensatorul montat în paralel cu motorul, pentru ca factorul de putere al instalației să devină $\cos \varphi=0,8$?

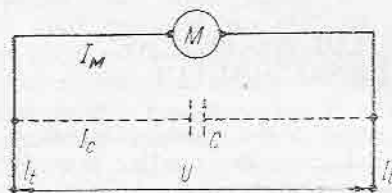


Fig. 7-24. Motor în paralel cu un condensator.

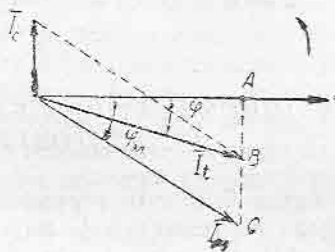


Fig. 7-25. Diagrama vectorială corespunzătoare figurii.

Rezolvare. Se consideră diagrama vectorială din figura 7-25, unde s-a luat ca origine de fază tensiunea \bar{U} și s-a trasat apoi vectorul curentului \bar{I}_M făcînd unghiul φ_M cu vectorul tensiunii \bar{U} . Curentul \bar{I}_C absorbit de condensator și defazat cu 90° înaintea tensiunii \bar{U} , compus vectorial cu curentul \bar{I}_M , va da un curent total \bar{I}_t defazat cu unghiul φ în urma tensiunii \bar{U} , după cum s-a reprezentat pe diagramă.

Observînd figura 7-25 se poate scrie:

$$I_M \cos \varphi_M = I_t \cos \varphi$$

de unde:

$$I_t = \frac{\cos \varphi_M}{\cos \varphi} \cdot I_M = \frac{0,6}{0,8} 16 = 12 \text{ A.}$$

Deoarece:

$$\sin \varphi_M = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_M} = \sqrt{1 - 0,6^2} = 0,8$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6$$

rezultă:

$$AC = I_M \cdot \sin \varphi_M = 16 \cdot 0,8 = 12,8$$

$$AB = I_t \cdot \sin \varphi = 12 \cdot 0,6 = 7,2$$

și în consecință:

$$BC = AC - AB = 12,8 - 7,2 = 5,6.$$

Curentul absorbit de condensator este deci:

$$I_c = 5,6 \text{ A.}$$

Pulsația tensiunii este:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314.$$

Deoarece:

$$I_c = U \cdot C \cdot \omega$$

rezultă:

$$C = \frac{I_c}{U \cdot \omega} = \frac{5,6}{220 \cdot 314} = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ F} = 81 \text{ } \mu\text{F}.$$

Puterea reactivă a condensatorului este:

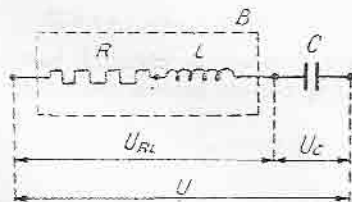
$$Q = U \cdot I_c = 220 \cdot 5,6 = 1\,232 \text{ var} = 1,232 \text{ kvar}$$

În practică, îmbunătățirea factorului de putere se face de obicei la consumatorii de puteri mari în sistemele trifazate.

10. REZONANȚA ELECTRICĂ

În figura 7-26 este reprezentată bobina B cu inductivitate proprie L și rezistența R legată în serie cu un condensator de capacitate C . Se aplică la bornele întregului circuit o tensiune alternativă de valoare eficace U și pulsație ω . Se notează cu I valoarea eficace a curentului, cu U_{RL} valoarea eficace a tensiunii la bornele bobinei și cu U_C valoarea eficace a tensiunii la bornele condensatorului. În figura 7-27 s-a trasat o diagramă vectorială pentru care s-a luat ca origine de fază vectorul \vec{I} al curentului. Valoarea eficace a curentului este:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (7.32)$$



7-26 B..obină și condensator în serie.

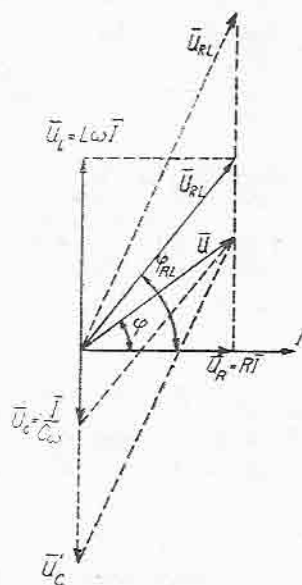


Fig. 7-27. Diagrama vectorială a schemei din figura 7-2.

Lungimea vectorului \vec{I} se ia corespunzător scării grafice alese pentru intensitatea curentului. Se trasează apoi vectorul $\vec{U}_R = R\vec{I}$ în fază cu \vec{I} și care reprezintă tensiunea la bornele rezistenței R , vectorul $\vec{U}_L = L\omega\vec{I}$ făcând un unghi $\pi/2$ înaintea vectorului \vec{I} și care reprezintă tensiunea la bornele inductivității L , precum și vectorul $\vec{U}_C = \vec{I}/C\omega$ făcând un unghi $\pi/2$ în urma vectorului \vec{I} și care reprezintă tensiunea la bornele condensatorului.

Vectorul \vec{U}_{RL} al tensiunii la bornele bobinei de inductivitate L și rezistență R rezultă din compunerea vectorilor \vec{U}_L și \vec{U}_R . Unghiul φ_{RL} reprezintă defazajul curentului I față de tensiunea \vec{U}_{RL} la bornele bobinei. Compunind vectorul tensiunii \vec{U}_{RL} cu vectorul tensiunii \vec{U}_C , se obține vectorul tensiunii \vec{U} , la bornele întregului circuit. Unghiul φ reprezintă defazajul între curentul I și tensiunea U .

În cele ce urmează se va cerceta variația curentului din relația (7.32) dacă variază capacitatea C . În momentul cînd $C=0$ (distanță foarte mare între armăturile condensatorului), $I=0$, deoarece numitorul fracției devine infinit. Pe măsură ce capacitatea C începe să crească (armăturile condensatorului se apropie), valoarea I a curentului crește. Fracția $1/C\omega$ din relația (7.32), care era foarte mare la valori foarte mici ale capacității, scade pe măsură ce capacitatea C crește. La un moment dat, această fracție ajunge egală cu expresia $L\omega$, adică:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \text{ sau } L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0. \quad (7.33)$$

În acest moment, paranteza de la numitorul expresiei (7.32) se anulează, impedanța circuitului trece printr-un minim, iar curentul I , printr-un maxim. Valoarea acestui maxim este:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (7.34)$$

Valoarea capacității C , care face să crească la maximum curentul rezultă din relația (7.33):

$$C = \frac{1}{L\omega^2} \quad (7.35)$$

Din relația (7.34) rezultă că în momentul cînd curentul I trece prin maxim, valoarea lui depinde numai de tensiunea U și de rezistența R , ca și cînd n-ar exista inductivitate și capacitate în circuit. Valoarea maximă a curentului este cu atât mai mare, cu cît rezistența R a bobinei este mai mică. De asemenea, în momentul de maxim al curentului, unghiul de defazaj φ între curentul I și tensiunea U este nul, deoarece:

$$\lg \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = 0$$

(numărătorul fracției este nul, după cum s-a arătat).

Pe măsură ce rezistența R scade, crește unghiul φ_{RL} , deoarece în circuitul bobinei unghiul de defazaj φ_{RL} dintre curent și tensiunea \vec{U}_{RL} la bornele bobinei rezultă din:

$$\lg \varphi_{RL} = \frac{L\omega}{R}.$$

Cînd condiția corespunzătoare relației (7.33) este îndeplinită, tensiunea U la bornele circuitului fiind menționată constantă, dacă R scade și deci φ_{RL} crește, tensiunile \vec{U}_{RL} și \vec{U}_C la bornele bobinei și condensatorului cresc, ca, de exemplu, în situația reprezentată

punctat în figura 7-27 (tensiunile U'_{RL} și U'_C). La o valoare foarte mică a rezistenței, deci o valoare foarte mare a unghiului φ_{RL} , tensiunile U_{RL} și U_C cresc foarte mult (se produc supratensiuni), depășind de asemenea cu mult valoarea tensiunii U la bornele circuitului.

În momentul în care a fost îndeplinită condiția (7.33) se spune că a fost realizată *condiția de rezonanță* a circuitului. Condiția de rezonanță se poate obține nu numai prin variația capacității din circuit, dar și printr-o modificare corespunzătoare a inductivității sau a pulsației. Și în aceste cazuri condiția de rezonanță este îndeplinită dacă:

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0,$$

adică pentru o valoare a inductivității sau a pulsației dată respectiv de:

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{C\omega^2} \\ \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \right\} \quad (7.63)$$

Deoarece fenomenul de rezonanță descris provoacă supratensiuni, se numește *fenomenul de rezonanță a tensiunilor*.

Fenomenul de rezonanță își găsește în practică aplicații utile, în special în radiotehnică. La aparatele de radiorecepție, de exemplu, este necesar să se prindă o undă cu o anumită pulsație (sau o anumită frecvență f) datorită unui anumit post de radioemitter. Se aranjează atunci astfel parametrii din circuitele aparatului de recepție, încât să se producă condiția de rezonanță pentru pulsația respectivă.

Fenomenul de rezonanță poate avea însă și efecte dăunătoare. Se presupune, de exemplu, un cablu alimentat de la o mașină generatoare de curent alternativ. Această mașină se comportă în circuit ca o bobină cu o anumită inductivitate. Cablul introduce în circuit, pe lângă o rezistență R , și o capacitate importantă C . Capacitatea se datorește conductoarelor cablului, care se comportă ca armăturile unui condensator. Deoarece distanța dintre conductoare este mică, capacitatea condensatorului poate atinge valori care să conducă la îndeplinirea condiției de rezonanță. Supratensiunile care iau naștere în cazul rezonanței pot provoca distrugerii în circuit mai ales prin străpungerea izolației cablului, din cauza depășirii rigidității dielectrice. Din această cauză trebuie să se aleagă astfel parametrii circuitului, încât să se găsească cât mai departe de condiția de rezonanță. Uneori rezonanța este folosită tocmai pentru încercarea rigidității dielectrice a izolațiilor.

Aplicația 7-6. La bornele unui circuit asemănător celui reprezentat în figura 7-2 având o rezistență $R=8 \Omega$, o inductivitate $L=0,4 H$ și o capacitate $C=50 \mu F$ se aplică o tensiune alternativă cu o valoare eficace $U=100 V$. Se cere: a) să se determine frecvența f a tensiunii U pentru cazul rezonanței; b) în cazul rezonanței să se determine valoarea eficace I a curentului; c) în cazul rezonanței să se determine valoarea rezistenței R , pentru ca tensiunea U_L la bornele inductivității să fie de 10 ori mai mare ca tensiunea U la bornele circuitului.

Rezolvare. Pulsația la care este satisfăcută condiția de rezonanță este:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,4 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}} = 223 \text{ rad/s.}$$

Frecvența corespunzătoare este:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{223}{6,28} = 35,5 \text{ Hz.}$$

Valoarea eficace a curentului în cazul rezonanței este:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ A.}$$

Presupunând că R poate varia, în cazul rezonanței trebuie să existe următoarea relație:

$$U_L = 10 \cdot U$$

$$\frac{U_L}{U} = \frac{L\omega I}{U} = \frac{L\omega \frac{U}{R}}{U} = \frac{L\omega}{R} = 10.$$

Se deduce:

$$R = \frac{L\omega}{10} = \frac{0,4 \cdot 223}{10} = 8,9 \text{ } \Omega.$$

CAPITOLUL VIII

CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV POLIFAZAT

Pină acum s-a considerat o sursă de energie electrică cu o singură forță electromotoare alternativă, care poate produce un curent alternativ. Această forță electromotoare se numește *monofazătă*, iar curentul alternativ produs se numește și el monofazat. Tensiunea la bornele unei astfel de surse este o tensiune monofazătă, sursa însăși numindu-se, de asemenea, monofazătă. Între o sursă monofazătă și receptoarele de energie electrică sînt necesare două conductoare.

Există însă și surse cu mai multe forțe electromotoare produse în înfășurări realizate în anumite condiții. Forțele electromotoare, tensiunile la bornele surselor, ca și sursele se numesc în acest caz *polifazate*, adică cu mai multe faze. Înfășurările în care se produc forțele electromotoare se numesc și înfășurări de fază.

Sursele care se întîlnesc curent în practică (generatoarele electrice) au trei forțe electromotoare alternative, numite *trifazate*. Aceste surse, ca și tensiunile la borne, sînt trifazate, iar curenții produși sînt trifazați. Între o sursă trifazătă și receptoarele de energie electrică sînt necesare mai mult decît două conductoare, după cum se va arăta la paragraful 2.

În continuare, se explică principiul producerii a trei forțe electromotoare trifazate și a curenților respectivi.

1. PRODUCEREA CURENȚILOR TRIFAZAȚI

În figura 8-1 sînt reprezentate trei spire identice 1—1', 2—2', și 3—3' într-un cîmp de inducție magnetică B . Spirele fac între ele unghiuri de cîte 120° (sau $2\pi/3$) și sînt separate (izolate) electric una față de alta. Se presupune că aceste spire se rotesc în sensul săgeții cu o viteză unghiulară constantă

ω . După cum se știe, în spira 1—1' se va induce o forță electromotoare alternativă :

$$e_1 = E_m \sin \omega t. \quad (8.1)$$

În spira 2—2' se va induce de asemenea o forță electromotoare alternativă. Deoarece spira 2—2' trece față de cîmp prin aceleași poziții ca și

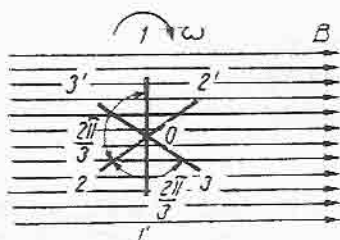


Fig. 8-1. Trei spire învîrtitoare la 120° , într-un cîmp magnetic.

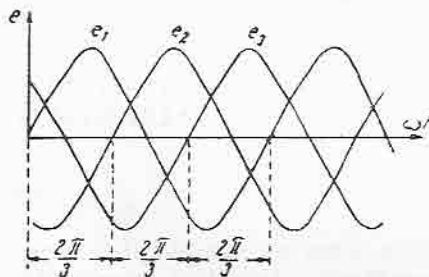


Fig. 8-2. Sinusoidele a trei forțe electromotoare trifazate.

spira 1—1' dar cu o întîrziere corespunzătoare unghiului $2\pi/3$, în spira 2—2' forța electromotoare alternativă e_2 va fi defazată în urmă față de e_1 cu unghiul $2\pi/3$, adică :

$$e_2 = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right). \quad (8.2)$$

În spira 3—3' se va induce o forță electromotoare alternativă e_3 defazată în urmă față de e_1 cu unghiul $4\pi/3$, adică :

$$e_3 = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \quad (8.3)$$

Cele trei forțe electromotoare e_1 , e_2 și e_3 , avînd aceeași amplitudine E_m și fiind defazate între ele cu unghiuri egale cu $2\pi/3$ (sau 120°), constituie un sistem de trei forțe electromotoare trifazate simetrice. În figura 8-2 sînt prezentate cele trei sinusoide reprezentînd aceste forțe electromotoare trifazate.

În figura 8-3 se arată reprezentarea vectorială a celor trei forțe electromotoare, prin trei vectori \vec{E}_1 , \vec{E}_2 și \vec{E}_3 egali ca lungime și făcînd între ei unghiuri de cîte 120° .

Dacă cele trei spire sînt închise pe circuite identice, vor apărea trei curenți :

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \sin (\omega t - \varphi) \\ i_2 &= I_m \sin \left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= I_m \sin \left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (8.4)$$

care constituie un sistem de trei curenți trifazați simetrici.

Curenții pot fi reprezentați, ca și forțele electromotoare, prin trei sinusoidale corespunzătoare, de amplitudine I_m , sau prin trei vectori egali și făcând între ei unghiuri de cîte 120° . Dacă pe aceeași diagramă vectorială se trasează și forțele electromotoare și curenții, fiecare vector care reprezintă un curent trebuie să fie defazat cu unghiul φ față de forța electromotoare care-l produce.

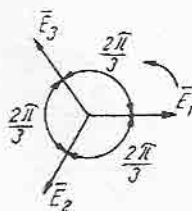


Fig. 8-3. Diagrama vectorială a trei forțe electromotoare trifazate.

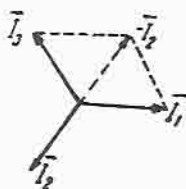


Fig. 8-4. Compunerea a trei curenți trifazați simetrici.

Suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice, a trei curenți trifazați simetrici, sau, în general, a trei mărimi trifazate simetrice este nulă.

Astfel se consideră, de exemplu, trei curenți trifazați simetrici I_1 , I_2 și I_3 (fig. 8-4). Dacă se compun vectorii I_1 și I_3 , se obține o rezultantă egală și de sens contrar cu al treilea vector I_2 , deci rezultanta totală este nulă. Deoarece suma vectorială a celor trei vectori este nulă, și suma valorilor instantanee a curenților este nulă, adică:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Dacă cei trei vectori sînt inegali și formează între ei unghiuri diferite de 120° , mărimile respective formează un sistem trifazat *nesimetric* și *dezechilibrat*. Cînd sistemul este simetric și echilibrat, de multe ori nu se mai menționează în mod expres aceasta.

2. GRUPAREA FORTELOR ELECTROMOTOARE ȘI TENSIUNILOR TRIFAZATE

În figura 8-5 s-a reprezentat o sursă S cu forța electromotoare monofazată e_1 și receptorul R , iar în figura 8-6 o sursă cu trei forțe electromotoare trifazate e_1 , e_2 și e_3 . În ultimul caz, pentru alimentarea a trei receptoare ar fi necesare șase conductoare.

În practică, la generatoarele de curent alternativ trifazat (v. cap. XV) cele trei bobinaje (faze) sînt astfel legate între ele, încît pentru alimentarea receptoarelor este suficient un număr mai mic de conductoare, realizîndu-se prin aceasta o mare economie de conductoare (care de obicei sînt din cupru sau aluminiu).

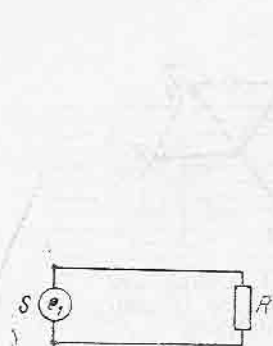


Fig. 8-5. Sursă de curent monofazat și linie monofazată.

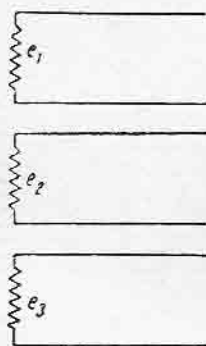


Fig. 8-6. Sursă cu trei forțe electromotoare trifazate, avînd șase conductoare.

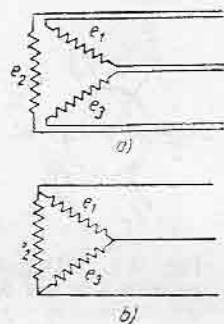


Fig. 8-7. Legarea în triunghi a forțelor electromotoare trifazate.

Astfel, dacă se presupune că bobinajele sînt așezate ca în figura 8-7, *a* și se contopesc conductoarele alăturate două cîte două, se obțin numai trei conductoare numite *de linie*, ca în figura 8-7, *b*. Legarea fazelor în modul arătat poartă numele de *legare* (sau *montaj*) în *triunghi*.

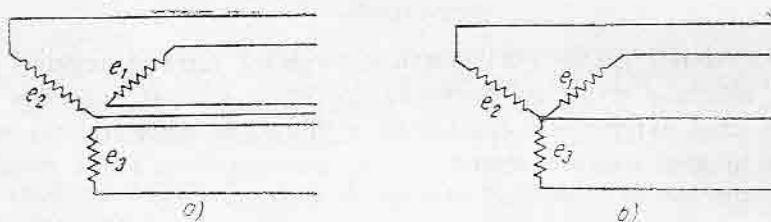


Fig. 8-8. Legarea în stea a forțelor electromotoare trifazate.

Se consideră acum că cele trei faze sînt așezate ca în figura 8-8, *a* și se contopesc cele trei conductoare centrale. În acest caz se obține o schemă ca în figura 8-8, *b* care poartă numele de *legare* (sau *montaj*) în *stea*. Al patrulea conductor care se leagă la punctul central al stelei — numit *punct neutru* — se numește *conductor neutru* sau *de nul*.

În figurile 8-7, *b* și 8-8, *b*, la bornele bobinajelor în care se produc forțele electromotoare trifazate e_1 , e_2 și e_3 apar trei tensiuni trifazate.

3. RELAȚII ÎNTRE TENSIUNI ȘI CURENȚI ÎN CAZUL LEGĂRII ÎN TRIUNGHI ȘI AL LEGĂRII ÎN STEA

Legarea în triunghi. În figura 8-9 s-a considerat din nou un generator cu fazele legate în triunghi. S-au notat cu V_1, V_2 și V_3 valorile eficace ale tensiunilor la bornele bobinajelor în care se produc forțe electromotoare, cu U_1, U_2 și U_3 , valorile eficace ale tensiunilor dintre conductoarele de linie, cu J_1, J_2 și J_3 , valorile eficace ale curenților în cele trei bobinaje și cu I_1, I_2 și I_3 , valorile eficace ale curenților în conductoarele de linie.

Tensiunile V_1, V_2 și V_3 se numesc *tensiuni simple* sau *pe fază*. Tensiunile U_1, U_2 și U_3 se numesc *tensiuni de linie*. Din figură rezultă că tensiunile de linie sînt egale cu tensiunile pe fază.

Curenții J_1, J_2 și J_3 se numesc curenți *simpli* sau *pe fază*. Curenții I_1, I_2 și I_3 se numesc curenți *de linie*.

Pentru a vedea care este relația dintre valoarea unui curent de linie I și aceea a unui curent de fază J , se observă că în figura 8-9 un curent oarecare de linie, de exemplu I_2 , rezultă din diferența dintre doi curenți pe fază, și anume J_3 și J_1 .

În figura 8-10 se face diferența vectorială între \vec{J}_3 și \vec{J}_1 pentru a se obține \vec{I}_2 . În acest scop, se compune \vec{J}_3 cu un vector egal și de sens contrar cu \vec{J}_1 . din figura 8-10 rezultă:

$$I_2 = J_3 \cos 30^\circ + J_1 \cos 30^\circ.$$

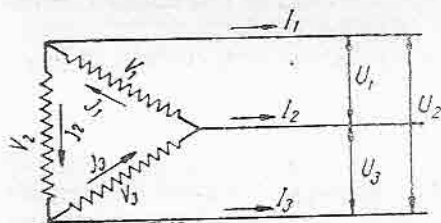


Fig. 8-9. Curenții și tensiunile la legarea în triunghi.

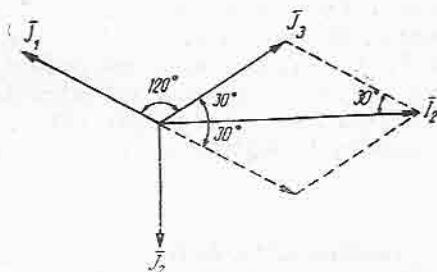


Fig. 8-10. Reprezentarea unui curent de linie și a curenților pe fază la legarea în triunghi.

Deoarece ca valoare:

$$J_1 = J_2 = J_3 = J,$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I,$$

unde prin J și I s-au notat valorile comune respective, se poate scrie:

$$I = 2 J \cos 30^\circ.$$

Dar $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, astfel înțit :

$$I = \sqrt{3} \cdot J.$$

În consecință, la legarea în triunghi, valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază, iar valoarea eficace a curentului din conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază multiplicată cu $\sqrt{3}$, conform relației de mai înainte.

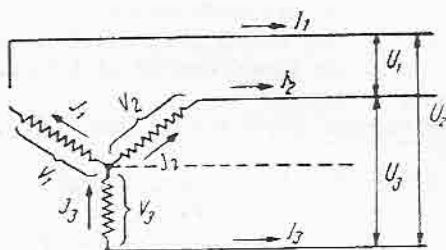


Fig. 8-11. Curenții și tensiunile la legarea în stea.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel :

$$U = V \text{ și } I = \sqrt{3} J. \quad (8.5)$$

Legarea în stea. În figura 8-11 s-au reprezentat cele trei bobinaje legate în stea. Curenții J_1 , J_2 și J_3 sînt curenți pe fază, iar curenții I_1 , I_2 și I_3 sînt curenții de linie. Tensiunile U_1 , U_2 și U_3 sînt tensiunile de linie sau între faze, iar V_1 , V_2 și V_3 sînt tensiunile pe fază. Din figură rezultă că intensitatea curenților de linie este egală cu intensitatea curenților pe fază.

După cum s-a demonstrat la legarea în triunghi pentru curenți, se poate demonstra la legarea în stea pentru tensiuni :

$$U = \sqrt{3} V.$$

În consecință, la legarea în stea, valoarea eficace a curentului de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază, iar valoarea eficace a tensiunii între conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază multiplicată cu $\sqrt{3}$, conform relației de mai înainte.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel :

$$I = J, \text{ și } U = \sqrt{3} V. \quad (8.6)$$

În cazul legării în stea dacă se aplică prima lege a lui Kirchhoff valorilor instantanee ale curenților din conductoarele legate la punctul neutru, se găsește că suma celor trei curenți din conductoarele de fază sau active (numite astfel spre a le deosebi de conductorul neutru) este egală cu curentul din conductorul neutru. S-a arătat însă că suma a trei curenți trifazați simetrici

este nulă. În consecință, și curentul din conductorul neutru trebuie să fie nul. Pentru ca să existe o astfel de încărcare cu curenți trifazați simetrici, trebuie ca receptoarele de energie electrică să absoarbă curenți absolut identici pe toate cele trei conductoare de fază. În caz contrar, suma lor nu mai este nulă și, în consecință, prin conductorul neutru va trece un curent, ceea ce justifică existența acestui conductor într-un asemenea caz.

4. LEGAREA LA REȚEA A RECEPTOARELOR TRIFAZATE ÎN STEA ȘI ÎN TRIUNGHI

Dacă fazele generatorului S care alimentează rețeaua sunt legate în triunghi, receptoarele R pot fi montate fie în triunghi, fie în stea (fig. 8-12). Aceste receptoare trebuie însă să încarce simetric rețeaua trifazată (astfel de receptoare sînt, de exemplu, motoarele trifazate).

Cînd fazele generatorului sînt legate în stea cu conductor neutru, receptoarele pot fi montate la rețea fie în triunghi, fie în stea cu legare la neutru, după cum se arată în figura 8-13. Dacă receptoarele sînt legate în triunghi ele trebuie să fie simetric încărcate.

În cazul unei rețele alimentate de un generator în stea fără neutru (caz mai rar), receptoarele se pot lega ca și în cazul rețelei legate în triunghi (fig. 8-12).

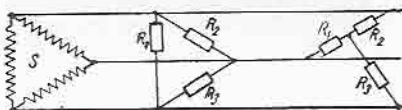


Fig. 8-12. Legarea receptoarelor la o rețea alimentată de un generator cu fazele legate în triunghi.

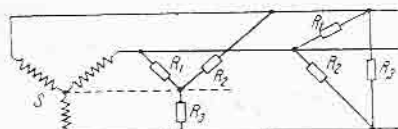


Fig. 8-13. Legarea receptoarelor la o rețea alimentată de un generator cu fazele legate în stea cu fir neutru.

În general, rețelele trifazate destinate a alimenta simultan lămpi electrice și motoare electrice nu se pot încărca simetric. Motoarele electrice trifazate încarcă în mod simetric rețeaua, în timp ce lămpile electrice nu pot realiza o asemenea încărcare, deoarece sarcina corespunzătoare iluminatului depinde de numărul și puterea lămpilor aprinse la un moment dat. Din această cauză, astfel de rețele trebuie să aibă generatoarele cu fazele legate în stea cu conductor neutru.

În figura 8-14 este reprezentată o rețea trifazată cu fir neutru, avînd ca receptoare o serie de motoare trifazate (receptoare simetrice) și o serie de lămpi L (receptoare monofazate care încarcă nesimetric rețeaua).

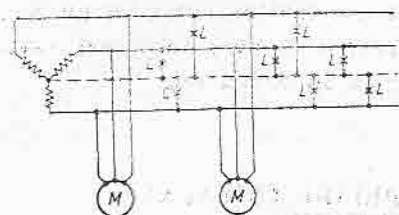


Fig. 8-14. Legarea receptoarelor la o rețea în stea nesimetrică.

5. PUTEREA ȘI ENERGIA ELECTRICĂ ÎN CAZUL REȚELELOR TRIFAZATE SIMETRICE

Dacă se consideră o rețea legată în triunghi, ca în figura 8-9, puterea pentru fiecare bobinaj de fază este :

$$P_f = VJ \cos \varphi,$$

în care : V este tensiunea pe fază ;

J — curentul pe fază ;

φ — unghiul de defazaj între curent și tensiune.

Pentru toate cele trei bobinaje de fază, puterea va fi :

$$P = 3VJ \cos \varphi.$$

Dar după cum se știe :

$$V = U \text{ și } J = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

astfel încît, dacă se fac înlocuirile, rezultă :

$$P = \frac{3UI}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

În cazul unei rețele legate în stea, ca în figura 8-11, puterea pe o fază este :

$$P_f = V J \cos \varphi,$$

iar puterea totală pentru cele trei bobinaje de fază :

$$P = 3 VJ \cos \varphi.$$

În cazul legării în stea, după cum se știe, există relațiile :

$$J=I \text{ și } V=\frac{U}{\sqrt{3}}.$$

Dacă se fac înlocuirile se obține :

$$P=\frac{3UI}{\sqrt{3}}\cos\varphi=\sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

Rezultă așadar că într-o rețea trifazată, fie că este legată în triunghi, fie că este legată în stea, puterea este egală cu $\sqrt{3}$ multiplicat cu valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie, cu valoarea eficace a curentului de linie și cosinusul unghiului de defazaj dintre curentul și tensiunea pe fază.

În cazul rețelelor trifazate, expresia :

$$P=\sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (8.7)$$

se numește *putere activă* ; expresia :

$$Q=\sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (8.8)$$

se numește *putere reactivă*, iar expresia :

$$S=\sqrt{3} UI \quad (8.9)$$

se numește *putere aparentă*.

Expresiile :

$$W_P=P \cdot t=\sqrt{3} U \cdot I \cos \varphi \cdot t \quad (8.10)$$

$$W_Q=Q \cdot t=\sqrt{3} U \cdot I \sin \varphi \cdot t$$

unde t este timpul, poartă, respectiv, numele de *energie activă și reactivă*. Unitățile de măsură pentru puteri și energii au fost arătate la capitolul precedent, paragraful 8.

Aplicația 8-1. Un generator de curent alternativ trifazat menține între bornele sale o tensiune U de 380 V la frecvența 50 Hz și alimentează printr-o linie foarte scurtă trei receptoare identice montate în stea (fig. 8-15). Fiecare receptor are o inductivitate proprie

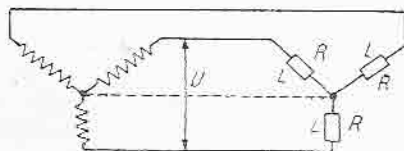


Fig. 8-15. Receptor trifazat alimentat de la un generator.

$L=0,03$ H și o rezistență $R=4 \Omega$. Se cer : tensiunea la bornele fiecărui receptor (se neglijează căderea de tensiune între sursă și receptor); intensitatea curentului absorbit de fiecare receptor; puterea activă consumată de cele trei receptoare.

Rezolvare. Tensiunea V la bornele unui receptor este :

$$V=\frac{U}{\sqrt{3}}=\frac{380}{1,73}=220 \text{ V.}$$

Intensitatea curentului care trece printr-un receptor este :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{220}{9,85} = 21,6 \text{ A.}$$

Factorul de putere pentru un receptor este :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{4}{9,85} \approx 0,4.$$

Puterea activă absorbită de cele trei receptoare este :

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 21,6 \cdot 0,4 = 5680 \text{ W} = 5,680 \text{ kW.}$$

6. SISTEME BIFAZATE

Dacă în figura 8-1 s-ar presupune că în loc de trei spire ar exista numai două spire învîrtitoare cu viteza unghiulară ω , unghiul dintre spire fiind de 90° , se vor obține două forțe electromotoare, date de relațiile :

$$e_1 = E_m \sin \omega t$$

$$e_2 = E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

și care constituie un sistem de două forțe electromotoare *bifazate*.

Aceste forțe electromotoare pot produce în circuitele respective, un sistem de doi curenți bifazați :

$$i_1 = I_m \sin (\omega t - \varphi)$$

$$i_2 = I_m \sin \left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2} \right).$$

În practică însă, se întîlnesc rar surse și receptoare bifazate,

CAPITOLUL IX

FENOMENE ELECTRICE ÎN GAZE RAREFIATE ȘI ÎN VID

1. DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE

Se consideră un tub de sticlă complet închis, avînd la extremități cîte un electrod din platină. Se leagă acești electrozi la un dispozitiv, care poate produce o anumită diferență de potențial între electrozi. Dacă în tub se găsește aer la presiunea atmosferică, iar diferența de potențial între electrozi este suficient de mare, se observă în interiorul tubului descărcări avînd forma unor scînteii șerpuite (fig. 9-1, *a*). Dacă se scoate treptat aerul din tub cu ajutorul unei pompe, descărcările pot avea loc și pentru diferențe de potențial mai mici, iar fenomenele luminoase din interiorul tubului se schimbă pe măsură ce presiunea aerului scade.

Dacă se ajunge, de exemplu, la o presiune de 10 mm Hg, se observă în interiorul tubului o coloană luminoasă roșie, care se întinde de la electrodul pozitiv (anod) pînă în apropierea electrodului negativ (catod). Această luminozitate poartă numele de *coloană luminoasă pozitivă* (fig. 9-1, *b*). Scoțîndu-se aerul și mai mult, coloana pozitivă își mărește din ce în ce volumul (fig. 9-1, *c*), iar cînd presiunea din interiorul tubului scade sub 1 mm Hg, coloana începe să se separe într-o serie de straturi luminoase și întunecoase, perpendiculare pe axul longitudinal al tubului (fig. 9-1, *d*); dacă, de exem-

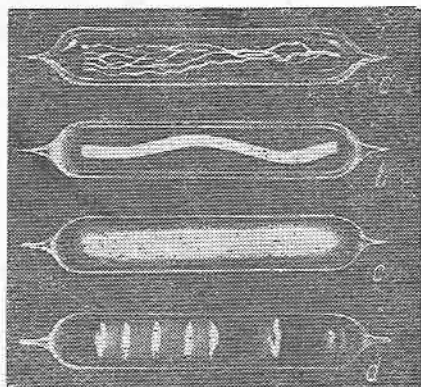


Fig. 9-1. Descărcări în gaze.

plu, distanța dintre electrozi este de aproximativ 100 mm, iar diferența de potențial este 1 000 V, intensitatea curentului din circuit este de cîțiva miliamperi. Astfel de tuburi se numesc, de multe ori, tuburi *Geissler* (se citește gaisler).

de la numele aceluia care le-a realizat prima dată.

Cînd presiunea din tub este de circa 1 mm Hg, iar coloana luminoasă pozitivă umple aproape tot tubul, se pot obține diferite colorații, după natura gazului din interior. Dacă tubul este umplut cu *neon*, se obține o culoare roșie, dacă este umplut cu *helium*, culoarea este roză-albă etc. Pe această proprietate se bazează fabricarea tuburilor pentru firme luminoase.

Dacă presiunea din interiorul tubului scade mult, la valori cuprinse între 1/100 mm și 1/1 000 mm Hg, se formează un spațiu întunecos care începe din regiunea catodului și crește spre anod, pe măsură ce presiunea scade. Asemenea tuburi se numesc tuburi *Crookes* (se citește crues), după numele fizicianului care a studiat aceste fenomene. În partea opusă catodului, sticla capătă o luminozitate verzuie, deoarece de la catod pleacă raze care, atingînd sticla, o fac luminoasă. Dacă în drumul acestor raze se interpun alte corpuri acestea iau diferite colorații: creta devine galbenă-portocalie, diamantul devine verde etc. Chiar gazul rarefiat din interiorul tubului capătă o slabă luminozitate: de exemplu, oxigenul devine galben. Razele care pornesc de la catod se numesc *raze catodice*; ele se propagă în linie dreaptă.

În cele ce urmează se explică modul cum se produc fenomenele luminoase în tuburi.

În tuburile cu gaze rarefiate există de obicei un mic număr de electroni *liberi* (care nu sînt fixați în atomi), fie în gazul rarefiat, fie în catod. Cînd se aplică o diferență de potențial între electrozi, electronii liberi — care sînt particulele încărcate cu electricitate negativă — sînt atrași, sub influența cîmpului electric din tub, de către anod (electrodul pozitiv). În drumul lor electronii se ciocnesc cu atomii de gaz pe care îi întîlnesc. Prin ciocnire, electronii liberi pot scoate din atomi electroni ai acestor atomi, electroni care, și ei, se dirijează spre anod. Atomii de gaz care au pierdut unul sau mai mulți electroni au devenit particule pozitive, numite *ioni pozitivi*; acești ioni sînt atrași de catod, adică de electrodul negativ. Formarea de ioni din atomii de gaze poartă numele de *ionizare*.

Ionii pozitivi, ajungînd la catod, scot din metalul electrodului alți electroni, astfel încît în interiorul tubului se menține o circulație permanentă de ioni și de electroni. Această circulație de electroni și ioni din interiorul tubului completează circuitul electric în care se găsește tubul, realizîndu-se astfel un circuit închis.

În cazul tuburilor *Crookes*, cînd gazul este foarte rarefiat, numărul ionilor pozitivi care se dirijează spre catod este mult mai redus decît în cazul cînd rarefierea este mai puțin accentuată. Razele catodice din aceste tuburi sînt constituite din electroni care se dirijează de la catod înspre anod.

Ciocnirile dintre electroni și atomii gazului din interiorul tubului nu sînt totdeauna suficient de puternice pentru a scoate complet electronii din atomii respectivi. Uneori, electronii suferă numai o deplasare de pe orbita lor normală pe o altă orbită *mai puțin stabilă*. Un atom care are electroni pe astfel de orbite nestabile se numește *atom excitat*. Electronul de pe orbita nestabilă caută să revină pe orbita stabilă. Cînd se face revenirea electronului, se produce o *radiație*, care poate fi *luminoasă*. De asemenea, se poate întîmpla ca un ion pozitiv să *capteze*, în drumul lui spre catod, un electron care se îndreaptă spre anod; acest fenomen poate avea loc dacă viteza electronului nu este prea mare. În momentul captării electronului, se pot produce, de asemenea, radiații luminoase.

În aplicațiile industriale practice sînt mai răspîndite lămpile care funcționează pe baza *descărcărilor electrice în vapori metalici*, de sodiu sau de mercur. Descărcările din aceste lămpi sînt însoțite de efecte luminoase și se numesc descărcări în *arc*.

Lămpile cu descărcări în vapori metalici au un randament luminos de cîteva ori mai mare decît cel al lămpilor electrice obișnuite (cu incandescență); ele au însă dezavantajul de a produce o lumină cu o culoare neplăcută, care face ca figurile omenești să aibă un aspect cadaveric.

În ultimul timp au început să se răspîndească din ce în ce mai mult lămpile cu *fluorescență*, care se fabrică în Republica Socialistă România (întreprinderea «Electrofar» — București). În tubul unei asemenea lămpi se produc descărcări în vapori de mercur, care dau loc la radiații invizibile (ultraviolete). Aceste radiații, după ce ating peretele interior al tubului lămpii căptușit cu substanțe speciale numite *fluorescente*, se transformă în radiații luminoase.

Lămpile cu fluorescență, pe lîngă faptul că au un randament luminos de același ordin de mărime ca și lămpile cu descărcări în vapori metalici, au avantajul de a produce o lumină asemănătoare cu aceea a zilei. Din această cauză ele se răspîndesc din ce în ce mai mult în diferite domenii (iluminatul public, în industrie, spitale, biblioteci, întreprinderi etc.).

2. RAZELE X (ROENTGEN)

Se consideră un tub de genul tuburilor *Crookes* (fig. 9-2). Se notează cu *A* anodul și cu *C* catodul. Între anod și catod se așază un al treilea electrod metalic *C_s*, numit *catod suplimentar*, legat electric cu anodul, după cum se arată în figură. Dacă se aplică între anod și catod o diferență de potențial foarte mare, razele catodice care pornesc de la catod lovesc catodul suplimentar *C_s*, iar acesta emite, la rîndul său, raze care au proprietatea că pot

pătrunde prin diverse corpuri mai mult sau mai puțin *opace* (corpurile opace nu pot fi străbătute de razele de lumină). Aceste raze se numesc raze *X* sau raze *Roentgen*, după numele aceluia care le-a descoperit în anul 1895.

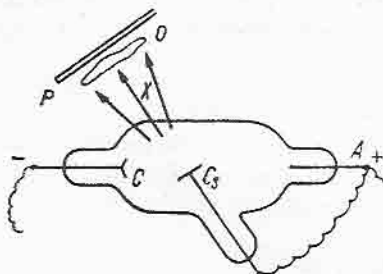


Fig. 9-2. Tub pentru producerea razelor X.

Dacă se așază în *O* un obiect oarecare, razele *X* pot străbate acest obiect și apoi impresionează, fie un ecran cu *platinocianură de bariu*, fie o *placă fotografică*, așezată în *P*. Dacă, de exemplu, se așază mina în *O*, pe ecran — care devine luminos — sau pe placa fotografică, apar oasele mîinii, prin care razele *X* trec mai greu decît prin carne. Cînd observația se face direct pe ecranul cu platinocianură de bariu, operația se numește *radioscopie*, iar cînd se utilizează o placă fotografică, se numește *radiografie*.

Razele *X* au o serie de aplicații în tehnică. Ele pot fi folosite pentru descoperirea neomogenităților de structură sau a defectelor din interiorul unor piese metalice, deoarece pun în evidență fisurile, impuritățile sau suflurile din aceste piese. De asemenea, se pot întrebuința pentru studiul structurii cristaline a unor materiale.

În medicină, razele *X* permit să se cerceteze fracturile osoase sau să se descopere diverse obiecte pătrunse în corpul omenesc etc. Uneori, bolile canceroase se tratează cu raze *X*. Tratatamentul cu asemenea raze se numește *radioterapie*.

Acțiunea îndelungată a razelor *X* asupra țesuturilor vii poate produce arsuri profunde, foarte periculoase. Pentru protecție se utilizează tole de plumb, șorțuri de cauciuc cu plumb sau ochelari de sticlă cu plumb, deoarece plumbul este străbătut foarte greu de razele Roentgen.

3. EMISIA TERMoeLECTRONICĂ

În figura 9-3 se consideră un tub de sticlă *V*, în care s-a făcut vacuum (vid) avansat. S-a notat cu *F* *filamentul* (un fir subțire) de wolfram, iar cu *P*, o placă din *molibden*. Cu ajutorul unei baterii *B_c* de circa 4 V se alimentează

filamentul F cu curent electric. Bateria B_a , de aproximativ 80 V, menține placa P la un potențial pozitiv față de filament. În felul acesta, placa P constituie anodul, iar filamentul F , catodul dispozitivului. Bateria B_c se numește catodică, iar bateria B_a , anodică.

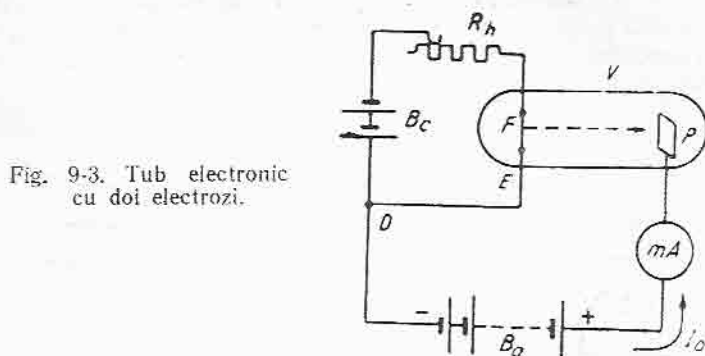


Fig. 9-3. Tub electronic cu doi electrozi.

Se reglează reostatul R_h din circuitul filamentului, astfel încât acesta să se încălzească pînă la incandescență. În aceste condiții, miliampermetrul mA din circuitul bateriei anodice indică trecerea unui curent electric de ordinul miliamperilor, deși în interiorul tubului filamentul nu este legat cu placa, iar în tub este vacuum; din acest motiv, apariția curentului electric nu mai poate fi explicată prin ionizarea gazelor ca în tuburile cu gaze rarefiate (§ 1).

Prezența curentului se explică prin faptul că filamentul adus la incandescență emite electroni în tubul în care s-a făcut vid. Sub influența cîmpului electric din tub, acești electroni sînt atrași de către placa anodică. În felul acesta, curentul electric din circuitul metalic PB_aDEF se continuă prin circulația electronilor dintre filamentul F și placa P din interiorul tubului. Electronii circulă în sensul săgeții trasate punctat, iar curentul electric are sensul contrar, indicat de săgeata I_a (trasată plin). Curentul I_a se numește *curent anodic*.

Eliberarea electronilor de către filamentul încălzit pînă la incandescență poartă numele de *emisie termoelectronică*, iar curentul constituit de electronii din tub se numește *curent termoelectronic*. Dispozitivul întreg constituie un *tub electronic*.

4. TUBURI ELECTRONICE

Tubul electronic din figura 9-3, care are un catod și un anod, poartă numele de *diodă*. Catodul poate fi realizat din tantal sau toriu, iar anodul din nichel, cupru sau tantal. În figura 9-4 se arată aspectul constructiv al unei diode, cu un anod (placă) cilindric A și un catod C , care pătrunde prin interiorul anodului.

În figura 9-5 se arată cum variază *curentul anodic* I_a , în funcție de *tensiunea anodică* (tensiunea anodului față de catod) U_a , pentru diferite temperaturi crescătoare T_1, T_2, T_3, \dots ale catodului. La anumită temperatură a catodului, caracteristica are la început o parte curbă, apoi devine practic rectilinie; ultima parte a caracteristicii tinde să devină paralelă cu axa absciselor, adică curentul tinde spre o valoare constantă numită *valoare de saturație* a curentului.

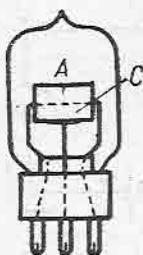


Fig. 9-4. Diodă.

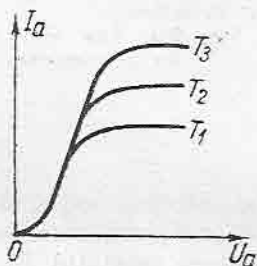


Fig. 9-5. Caracteristicile diodei.

Dioda se întrebuințează mai ales ca *redresor* (dispozitiv care transformă curentul alternativ în curent aproximativ continuu), numindu-se, în acest caz, *diodă redresoare* sau *kenotron*. Funcționarea diodei redresoare se bazează pe faptul că în *circuitul anodic*, curentul I_a (fig. 9-3) nu poate trece decât în sensul indicat de către săgeata plină, atunci când potențialul plăcii P este pozitiv față de potențialul filamentului F . Dacă se aplică diodei (între anod și catod) un curent alternativ i , nu vor trece decât alternanțele pozitive, astfel cum se arată în figura 9-6. Curentul i din figură se numește *curent redresat* și are numai valori pozitive, apropiindu-se de curentul continuu. Există scheme electrice cu două sau patru diode, care permit redresarea ambelor alternanțe, ale curentului alternativ, așa cum se arată în figura 9-7. Curentul I_a din figura 9-7 se apropie în acest caz și mai mult de curentul continuu.

În figura 9-8 se arată un tub electronic, în care s-a făcut vacuum avansat și care, spre deosebire de diodă, conține și o *grilă* (grătar) G între catodul C și anodul A . Un asemenea tub electronic se numește *triodă*. Trecerea electronilor între catod și anod poate fi influențată de potențialul pe care-l are grila față de catod. Dacă grila are un potențial negativ, obținut — de exemplu — cu ajutorul unei tensiuni aplicate între punctele a și b ale *circuitului de grilă*, această grilă va exercita o acțiune de respingere asupra electronilor. Frînând în felul acesta mai mult sau mai puțin (după valoarea potențialului de grilă) circulația electronilor și variind deci în mod corespunzător intensitatea curentului I_a din circuitul anodic. Dacă se mărește potențialul grilei, curentul din circuitul anodic poate crește ca intensitate, deoarece circulația electronilor este accelerată. În felul acesta variind potențialul de grilă se poate *comanda* valoarea curentului anodic.

Curentul anodic I_a al triodei depinde de tensiune anodică U_a a anodului față de catod și de tensiunea U_g a grilei față de catod.

În figura 9-9 se arată variația curentului anodic I_a și a curentului de grilă I_g , în funcție de tensiunea U_g a grilei, pentru diferite valori ale tensiunii anodice U_a .

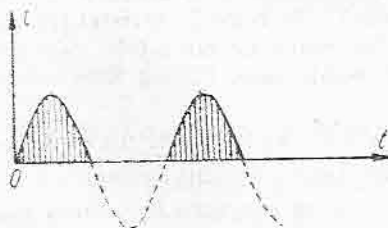


Fig. 9-6. Redresarea unei alternanțe a curentului alternativ.

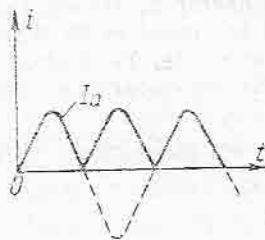


Fig. 9-7. Redresarea ambelor alternanțe ale curentului alternativ.

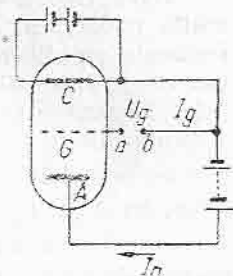


Fig. 9-8. Schema triodei.

Caracteristicile arată că se pot comanda curenții anodici de ordinul miliamperilor, numai prin variația tensiunii de grilă, curentul de grilă putând fi chiar nul.

Unui curent de grilă de ordinul microamperilor (un microamper este a milioana parte dintr-un amper) îi poate corespunde un curent anodic de ordinul miliamperilor.

Deoarece tuburile electronice nu au în general inerție, variația curentului anodic urmărește instantaneu variația tensiunii de grilă, astfel încât se pot utiliza curenți de frecvență mult mai mare decât aceea a curenților industriali, și anume curenți de frecvență muzicală (1 000—3 000 Hz), sau curenți de înaltă frecvență (de exemplu, în instalațiile de radiocomunicații).

Dacă într-un montaj corespunzător schemei reprezentate în figura 9-10, variază puțin tensiunea U_g a grilei, aparținând triodei T_1 , se obține o variație

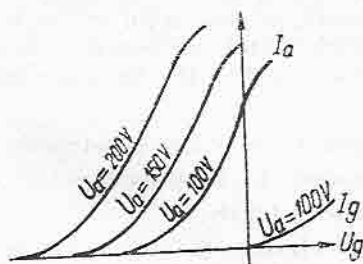


Fig. 9-9. Caracteristicile unei triode în funcție de tensiunea grilei.

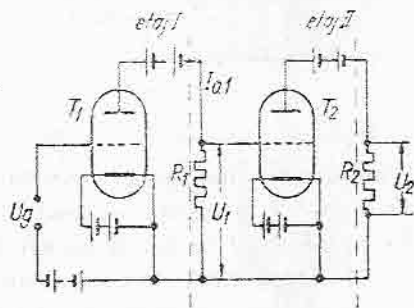


Fig. 9-10. Amplificarea cu ajutorul triodelor.

foarte mare a curentului I_{a1} din circuitul anodic al acestei triode. Din această cauză, tensiunea U_g se regăsește *amplificată* într-un anumit raport în tensiunea U_1 la bornele rezistenței R_1 din circuitul anodic al triodei T_1 . În felul acesta se explică funcționarea triodei ca *tub amplificator*.

Dacă este necesară o amplificare mai importantă, se pot utiliza mai multe triode, ca, de exemplu, trioda T_2 din figura 9-10. Tensiunea U_1 se regăsește amplificată la rîndul ei în tensiunea U_2 la bornele rezistenței R_2 din circuitul anodic al triodei T_2 . Tubul T_1 , împreună cu circuitele aferente (pînă la rezistența R_1), reprezintă un etaj de amplificare. Figura 9-10 arată o amplificare în *două etaje*.

Se consideră o triodă montată ca în figura 9-11, unde C este un condensator, iar L_g și L_p , două bobine cu același miez. La un anumit moment, condensatorul se încarcă de la bateria anodică și apoi se descarcă în bobina L_p , energia electrică trecînd astfel din cîmpul electric al condensatorului în cîmpul magnetic al bobinei. Apoi energia trece din nou în condensator și îl încarcă ș.a.m.d.; această energie *oscilează* între cele două cîmpuri din condensator și bobină. Ca urmare, între condensatorul C și bobina L_p apare un curent alternativ.

În bobina L_g se introduce o forță electromotoare și în consecință la bornele grilei se aplică o tensiune alternativă. La rîndul său, tensiunea alternativă de grilă produce în circuitul anodic un curent alternativ.

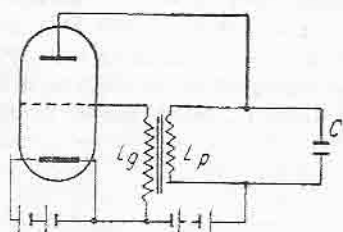


Fig. 9-11. Oscilator cu triodă.

Din cauza pierderilor prin efect Joule-Lenz, intensitatea curentului alternativ din circuitul $C-L_p$ s-ar micșora treptat. Pentru ca valoarea curentului să se păstreze, trebuie ca circuitul cu condensator și bobină, numit *circuit oscilant*, să primească din afară energie; această energie este dată de bateria anodică.

Oscilatoarele cu triode se utilizează frecvent în instalații de radiocomunicații.

Trioda poate servi și ca redresor. Redresarea se bazează pe principiul arătat la diodă, curentul care trebuie redresat fiind însă adus în circuitul de grilă, iar curentul

redresat obținîndu-se în circuitul anodic. Din punct de vedere constructiv, trioda — ca și dioda — poate fi realizată cu balon de sticlă sau metalic. În figura 9-12 se arată aspectul constructiv al unei triode.

În afara diodelor și triodelor există tuburi electronice avînd un număr mai mare de electrozi. Aceste tuburi (numite *tetrode*, *pentode* etc., după numărul de electrozi) îndeplinesc funcțiuni mai speciale în instalațiile respective.

Tuburile electronice își găsesc o foarte largă utilizare în practică, ca de exemplu în instalațiile de telecomunicații, automatizări, mașini de calcul etc.

5. TUBURI IONICE

Dacă dioda conține un gaz de joasă presiune (argon sau vapori de mercur), ea poartă numele de *gazotron*. Trecerea electronilor prin gazotron provoacă ionizarea gazului și de aceea tubul se numește *ionic*. În interiorul tubului, la circulația electronilor în sensul catod-anod se adaugă circulația ionilor pozitivi în sensul anod-catod. La gazotron, curenții sînt mai intensi și căderile de tensiune interne mai reduse decît la dioda cu vacuum. Gazotronul se utilizează de obicei ca redresor, ca și kenotronul.

Dacă trioda conține un gaz sub presiune joasă, se numește *tiratron* și are o funcționare deosebită de aceea a triodei cu vid în ceea ce privește stabilirea și întreruperea curentului anodic. Puterea tiratroanelor ajunge pînă la aproximativ 20 kW.

La tiratron (fig. 9-13), pentru o anumită tensiune anodică, tubul nu se amorsează (nu apare curent anodic) decît dacă potențialul grilei a depășit o anumită valoare, numită *potențial critic* sau de *amorsare*. Tubul odată amorsat, curentul anodic nu poate fi întrerupt, chiar pentru negativări puternice ale grilei, decît în momentul trecerii prin zero a tensiunii anodice. Tiratronul se utilizează mult ca redresor și ca amplificator. De asemenea poate servi și la reglarea valorii tensiunii redresate, dacă se polarizează în mod convenabil grila.

6. EMISIA FOTOELECTRONICĂ. CELULA FOTOELECTRICĂ

În figura 9-14 se consideră un balon de sticlă *B* în care s-a făcut vacuum; o parte din peretele interior al balonului este căptușit cu un strat *S* de oxid

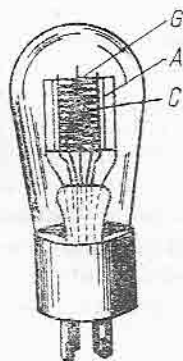


Fig. 9-12. Schema constructivă a unei triode.

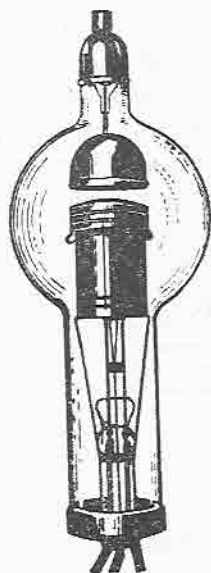


Fig. 9-13. Tiratron.

de cesiu și de argint sau de stibiu și de cesiu. În interiorul balonului se găsește inelul I din wolfram, legat prin intermediul rezistenței R la polul pozitiv al unei baterii de acumulare B_a de 80—100 V. Polul negativ al bateriei este legat la stratul S care căptușește balonul.

După cum este realizată schema electrică, se vede că stratul S constituie catodul, iar inelul I , anodul dispozitivului. Experimental se constată că orice variație a intensității luminoase la care este supus balonul se manifestă printr-o variație a curentului în circuitul bateriei și deci printr-o variație a tensiunii la bornele rezistenței R .

Fenomenul se explică prin faptul că sub influența energiei luminoase catodul emite electroni, iar aceștia, datorită cîmpului electric, sînt atrași de către anod. În felul acesta se închide circuitul bateriei, astfel încît aparatul A indică trecerea unui curent electric în sensul săgeții pline, pe cînd sensul de circulație al electronilor în interiorul balonului corespunde săgeții trasate punctat.

Eliberarea electronilor de pe catod sub influența luminii poartă numele de *emisie fotoelectrică*, iar circulația electronilor din balon corespunde unui *curent fotoelectric*. Dispozitivul poartă numele de *celulă fotoelectrică*.

Celula fotoelectrică cu vacuum are o inerție foarte mică, adică variația curentului anodic se produce practic în același timp cu variația intensității luminii. Sensibilitatea sa este însă redusă, adică pentru variații mari ale intensității luminoase curentul anodic este mic. Există însă celule umplute cu gaz *inert* (care nu se combină cu alte corpuri), cum este argonul. Electronii care traversează o asemenea celulă ionizează gazul, astfel încît în interior, pe lângă circulația de electroni, se produce și o circulație de ioni pozitivi. Din cauza ionilor, care sînt particule materiale cu masă mult mai mare, decît aceea a electronilor, inerția celulei cu gaz este mai mare decît a celulei cu vid. Deoarece gazul se ionizează, sensibilitatea celulei cu gaz este mai mare decît aceea a celulei cu vacuum.

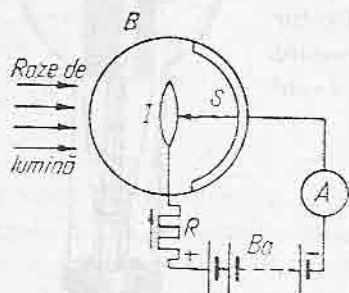


Fig. 9-14. Celulă fotoelectrică.

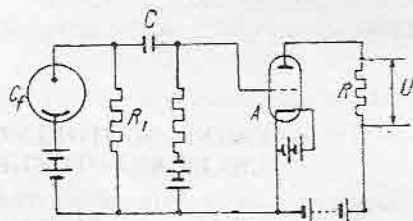


Fig. 9-15. Celulă fotoelectrică cu triodă amplificatoare.

Se construiesc celule fotoelectrice și cu alte materiale, ca, de exemplu, *celula cu seleniu*; acest element are proprietatea de a-și schimba mult rezistivitatea în funcție de intensitatea luminii care cade pe el. O sursă de energie electrică cuprinzând în circuitul ei o celulă cu seleniu va produce deci un curent dependent de această intensitate luminoasă.

Celulele fotoelectrice își găsesc întrebuințarea în televiziune, în cinematografia sonoră, numărarea automată a produselor fabricate pe bandă rulantă instalațiile de pază, instalațiile de protecție a muncii etc.

Curenții electrici care apar în funcționarea unei celule fotoelectrice sînt foarte slabi și de aceea ei trebuie să fie amplificați. Amplificarea se poate realiza cu ajutorul unei triode amplificatoare, astfel cum se arată în figura 9-15. Curentul datorit celulei fotoelectrice C_f produce o anumită tensiune la bornele rezistenței R_1 . Această tensiune se aplică circuitului de grilă al triodei amplificatoare A prin intermediul unui condensator C . La bornele rezistenței R din circuitul anodic al triodei se obține tensiunea U amplificată față de tensiunea la bornele rezistenței R_1 .

7. TUBUL CATODIC. TELEVIZIUNEA

Se consideră în figura 9-16, *a* o diodă cu filamentul F . Placa anodică P este prevăzută cu un orificiu central. Electronii care părăsesc filamentul străbat orificiul plăcii și al diafragmei D spre a ajunge pe ecranul E acoperit cu sulfură de zinc, silicat de zinc sau altă substanță specială, care are proprietatea de a produce o pată luminoasă punctiformă acolo unde este atinsă de raza electronică r . Această rază trece printre două plăci orizontale P_0 și două plăci verticale P_v . Dacă între plăcile verticale se produce, printr-un mijloc oarecare, un cîmp electric, raza electronică este deviată într-un plan orizontal. Dacă între plăcile orizontale se produce un alt cîmp electric, raza electronică este deviată într-un plan vertical. Deviațiile razei electronice apar și pe ecranul E .

Cu ajutorul dispozitivului descris, care poartă numele de *tub catodic*, se poate studia variația unei tensiuni. De exemplu, se aplică între plăcile P_0 o tensiune alternativă care trebuie studiată, iar între plăcile P_v , o tensiune proporțională cu timpul, ce se poate obține cu un dispozitiv special. Raza electronică va fi astfel deplasată, încît pata luminoasă pe ecran să descrie o curbă ca în figura 9-16, *b*, începînd din A înspre B . În momentul cînd raza electronică a atins extremitatea B , tensiunea dintre plăcile P_v o readuce foarte repede în extremitatea A ș.a.m.d.

Tubul catodic își găsește aplicații în televiziune, lucrări de laborator (oscilografe), zbor fără vizibilitate, radar etc.

Televiziunea, sau transmiterea la distanță a imaginilor se poate obține cu ajutorul dispozitivului, reprezentat simplificat în figura 9-17 și care se aseamănă într-o oarecare măsură cu tubul catodic. În F se găsește un strat sensibil la lumină (ca la celula fotoelectrică) alcătuit dintr-un număr foarte

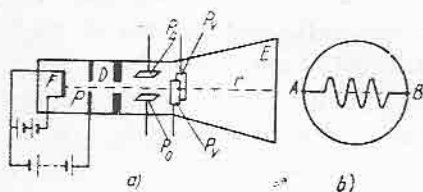


Fig. 9-16. Tub catodic.

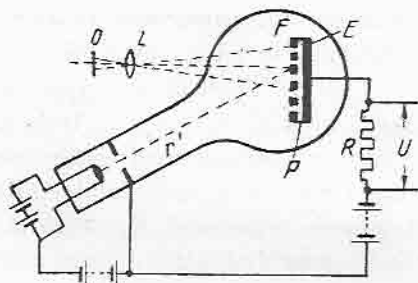


Fig. 9-17. Inconoscop.

mare de picături de argint. Stratul F este separat de ecranul metalic E printr-o placă de mică P . Fiecare picătură de argint constituie un *element fotoelectric* (o mică celulă fotoelectrică). În total se găsesc câteva zeci de mii de asemenea celule fotoelectrice.

Imaginea unui obiect O este proiectată pe ecran prin intermediul unui sistem de lentile L . Fiecare rază luminoasă care atinge un element fotoelectric face ca acest element să emită electroni și încarcă condensatorul constituit din element și ecranul E cu o cantitate de electricitate proporțională cu intensitatea razei luminoase respective.

Mozaicul de elemente fotoelectrice este explorat cu ajutorul unei raze catodice r' , adică această rază atinge, unul după altul, toate elementele, parcurgând rinduri orizontale, începând din stînga sus, pînă în dreapta jos, întocmai în modul în care se citește o carte. Cînd raza exploratoare atinge un anumit element, condensatorul corespunzător se descarcă, iar rezistența R este străbătută de un curent proporțional cu intensitatea razei luminoase provenită de la obiectul O , care a intersectat elementul fotoelectric respectiv. În felul acesta, la bornele rezistenței R se obține o tensiune U proporțională cu intensitatea razei luminoase respective. Dispozitivul descris este denumit *iconoscop*.

Raza exploratoare r' analizează *punct cu punct* într-un interval de timp foarte scurt întreaga regiune a ecranului pe care se proiectează imaginea obiectului O .

Variațiile tensiunii U sînt trecute într-un amplificator electronic și apoi pot fi transmise la distanță fie prin intermediul unor conductoare, fie prin intermediul undelor electromagnetice (radio).

Reconstituirea imaginii la postul receptor se face cu ajutorul unui tub catodic. Acesta este prevăzut cu un dispozitiv special de comandă, prin intermediul căruia se poate varia intensitatea razei catodice r (fig. 9-16) în funcție de tensiunea U . Acest dispozitiv de comandă (nereprezentat în figura 9-16) funcționează pe baza unui principiu analog cu acela a grilei unei triode. Raza catodică r a tubului catodic funcționează în *sincronism* (în același timp) și în același fel ca raza exploratoare r' a iconoscopului. Variațiile tensiunii U de la postul de emisie (iconoscop) sînt transmise dispozitivului de comandă menționat mai înainte, de la postul de recepție (tub catodic). În felul acesta pe ecranul tubului catodic se reproduce imaginea obiectului O de la postul de emisie.

O explorare completă (o parcurgere a imaginii) efectuată de raza r' a iconoscopului ca și de raza r a tubului catodic trebuie să fie realizată în maximum $1/20$ dintr-o secundă, deoarece retina ochiului omenesc păstrează senzația luminoasă în acest interval de timp. De obicei, însă, pentru a obține o impresie de continuitate, timpul de explorare este de $1/25$ dintr-o secundă.

8. TRANZISTOARE

În ultimul timp, o parte din funcțiunile îndeplinite de tuburile electronice au început din ce în ce mai mult să fie îndeplinite de tranzistoare.

Tranzistorul este un dispozitiv a cărui funcționare se bazează pe unele efecte electrice ce se pot produce la suprafețele de contact între anumite semiconductoare. Tranzistoarele se utilizează în special pentru producerea și amplificarea oscilațiilor electrice, în locul triodelor. Ele se pot fabrica cu cristale de germaniu, siliciu, galenă sau pirită. Sînt răspîndite tranzistoarele amplificatoare cu cristale de germaniu și siliciu.

Cele mai importante avantaje ale tranzistoarelor față de tuburile electronice sînt următoarele: durată de viață mult mai mare, rezistență mai mare la șocuri și vibrații, nu necesită circuit de încălzire, volum și greutate mult mai mici. Volumul unui tranzistor nu depășește de obicei 1 cm^3 . Ca dezavantaj se relevă dependența relativ accentuată a caracteristicilor electrice față de temperatură.

În Republica Socialistă România se realizează tranzistoare la „Întreprinderea de piese radio și semiconductoare” — Băneasa, (IPRS). Aceste tranzistoare sînt folosite mai ales ca amplificatoare în aparatele de radio-recepție și la elementele de automatizare.

CAPITOLUL X

MATERIALE ELECTROTEHNICE

1. NOȚIUNI GENERALE, CLASIFICARE

Materialele folosite în electrotehnică, numite și materiale electrotehnice, au o importanță deosebită în realizarea unor aparate și produse electrotehnice cu performanțe tehnice ridicate, de calitate superioară.

În țara noastră, unde industria electrotehnică a fost creată în anii puterii populare, problemei materialelor electrotehnice i s-a acordat o mare atenție. Numai în ultimii ani au fost înființate o serie de noi întreprinderi și secții cu acest specific, cum ar fi, de exemplu, Întreprinderea de piese de radio și semiconductoare — Băneasa, Întreprinderea Electroceramica — Turda, Fabrica de cabluri și materiale electroizolante — București, Secția de cărbuni și perii de cărbune de la Uzina de mașini electrice — București și altele.

În același timp a fost asimilată o gamă variată de materiale noi, care pînă acum se importau din străinătate, cum ar fi, de exemplu tranzistoarele (produse de I.P.R.S. Băneasa), feritele (produse de fabrica „Electronica”), magneții din aliaje de nichel (produși de Uzinele „Electromagnetica”) și multe altele.

a) Materialele electrotehnice se pot împărți, după proprietățile lor electrice, în :

- materiale conductoare ;
- materiale semiconductoare ;
- materiale izolante.

Materialele conductoare sînt corpuri care au în mod normal în componența lor sarcini electrice libere, conduc curentul electric și au o rezistivitate mică, cuprinsă între 10^{-2} și 10Ω cm. Ele se întrebunțează pentru circuitele electrice ale mașinilor, transformatoarelor și aparatelor electrice și la liniile de transmisie și rețelele de distribuție a energiei electrice.

Materialele semiconductoare sînt corpuri care, în anumite condiții, pot conduce curentul electric, avînd o rezistivitate cuprinsă între aceea a materialelor conductoare și aceea a materialelor izolante (10^{-3} la $10^{10} \Omega \text{ cm}$). Spre deosebire de metale, la semiconductoare conductivitatea crește cu temperatura. Creșterea conductivității unor semiconductoare se mai poate obține și prin eliminarea sau prin bombardare cu particule. Semiconductoarele se întrebuintează la fabricarea redresoarelor uscate, a celulelor și rezistențelor fotoelectrice, a detectoarelor și amplificatoarelor cu cristal, a termistoarelor, varistoarelor și a multor aparate cu specific electronic.

Materialele izolante sînt corpuri care, în mod normal, nu au în componența lor sarcini electrice libere, nu conduc curentul electric și au o rezistivitate foarte mare, cuprinsă între 10^{10} și $10^{20} \Omega \text{ cm}$. Ele se utilizează pentru izolarea circuitelor electrice și la construcția condensatoarelor, constituind dielectricul acestora.

b) Din punctul de vedere al proprietăților magnetice, materialele se pot împărți în materiale feromagnetice (numite și magnetice) și neferomagnetice (numite și nemagnetice). Acestea din urmă se împart în materiale diamagnetice și materiale paramagnetice. Materialele diamagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, nu se magnetizează și au permeabilitatea magnetică relativă mai mică decît unitatea ($\mu_r < 1$).

Materialele paramagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, se magnetizează și au permeabilitatea magnetică relativă cu puțin mai mare decît unitatea ($\mu_r > 1$).

Dintre ele fac parte metalele și aliajele neferoase (cupru, alamă, aluminiu etc.) și anumite metale și aliaje feroase obținute în mod special.

Materialele nemagnetice se folosesc la construcția aparatelor electrice de măsurat, la carcasele de busole, la buloane și părți de carcasă ale mașinilor electrice, la sîrma de bobinaj pentru rotoarele mașinilor electrice, la piesele pentru electromagneți, la suporturile de magneți etc.

Materialele feromagnetice sau „magnetice” au $\mu_r \gg 1$ și proprietăți magnetice deosebite: au permeabilitatea variabilă cu intensitatea cîmpului magnetic; introduse într-un cîmp magnetic, ele sînt supuse unor forțe electromagnetice și exercită, la rîndul lor, influență asupra acestui cîmp; produc în interiorul lor inducții mari cînd sînt așezate în cîmpuri magnetice și deformează liniile de forță ale acestor cîmpuri; prezintă pierderi magnetice la variația cîmbică a cîmpului magnetic în care sînt așezate.

Materialele magnetice sînt folosite în electrotehnică la circuitele magnetice ale mașinilor, transformatoarelor și aparatelor electrice, precum și pentru magneții permanenți.

2. MATERIALE CONDUCTOARE

Conductoarele electrice pot fi corpuri solide, lichide și, în anumite condiții (de exemplu, la intensități mari ale câmpului electric), gaze și vapori.

Din punctul de vedere al rezistivității, materialele conductoare se pot împărți în :

a) materiale cu conductivitate mare, întrebuințate pentru conductoare electrice, cabluri, circuitele electrice ale mașinilor, transformatoarelor și aparatelor electrice etc.

b) materiale de mare rezistivitate, întrebuințate pentru reostate, aparate electrice de încălzit, lămpi cu incandescență etc.

a. Materiale cu conductivitate mare

Cuprul

Avînd o conductivitate electrică mare (după argint, cuprul este metalul cu cea mai mică rezistivitate), o rezistență mecanică suficient de mare pentru utilizări uzuale în electrotehnică, o rezistență la coroziune satisfăcătoare (chiar în privința oxidării la temperaturi ridicate), o maleabilitate și plasticitate care îl fac să se prelucereze ușor și posibilitatea de a se suda și lipi ușor, cuprul are o largă întrebuințare în electrotehnică. Din cupru se fac înfășurările mașinilor, transformatoarelor și aparatelor electrice în general, precum și conductoarele aeriene ale liniilor de transmisie și distribuție de energie electrică, ale cablurilor subterane și ale instalațiilor electrice interioare. Fiind însă un material deficitar (se găsește în scoarța pămîntului în proporție de circa 0,01% pînă la 3 km adîncime), el se înlocuiește ori de cîte ori este posibil.

În general, în electrotehnică se folosește cuprul electrolitic CuE (STAS 642-71), care are un conținut de 99,95% Cu, precum și Cu 9, cu un conținut de 99,9% Cu.

Cuprul electrolitic are o culoare caracteristică roșiatică, greutatea specifică $8,9 \text{ kg/dm}^3$, rezistivitatea $\rho = 1,748 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ și coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura $\alpha = 0,00393/^\circ\text{C}$.

După tratamentul termic aplicat, cuprul se prezintă sub două forme: cupru tare și cupru moale.

Cuprul tare, avînd o rezistență mecanică mare, duritate și rezistență la uzură, se folosește la fabricarea conductoarelor neizolate pentru liniile aeriene de transport al energiei electrice, a unor contacte electrice, la fabricarea barelor pentru instalații de distribuție și a barelor pentru colectoarele mașinilor electrice etc.

Cuprul moale, avind flexibilitate și maleabilitate mare, dar o rezistență de rupere mai mică, se folosește la fabricarea conductoarelor izolate pentru cabluri electrice, a conductoarelor pentru bobinaje etc.

Aliajele cuprului

Pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice ale cuprului, care, la unele utilizări, nu sînt satisfăcătoare, se combină cuprul cu alte metale, astfel încît aliajul obținut să aibă o rezistență mecanică corespunzătoare fără ca conductivitatea să scadă prea mult față de conductivitatea normală a cuprului.

Bronzul este un aliaj de cupru cu unul sau mai multe metale (Sn, Al, Mg, Cd, Si, P etc.), în scopul obținerii unui metal mai dur, mai rezistent și mai fuzibil. La bronzul cu Cd, de exemplu, rezistența de rupere este circa de două ori mai mare ca aceea a cuprului ecruisat, fără ca conductivitatea să scadă prea mult. Bronzul cu Si are o mare rezistență mecanică, în schimb conductivitatea scade mult.

Bronzurile se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, precum și la confecționarea diferitelor piese, cum sînt clemele pentru conductoare, clemele de legătură, clemele de susținere, lamelele colectoare, armăturile, cuțitele de contact, contactele arcurilor etc.

Alama este un aliaj de cupru cu zinc, în care zincul nu poate depăși 46% (STAS 95-67). După compoziție, alama are rezistivitatea cuprinsă, la 20°C, între 5 și $7,1 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Ea se folosește la confecționarea pieselor conductoare de curent, acolo unde densitatea curentului nu este mare, de exemplu: cleme de derivație, socluri, patroane fuzibile, borne pentru tablouri de distribuție, piese de contact, dulii pentru lămpi, prize și fișe de curent etc.

Aluminiul

Are o conductivitate mai mare decît a tuturor metalelor afară de Ag și Cu (62% din conductivitatea cuprului), o greutate specifică foarte mică (din această cauză, Al are pe unitatea de greutate o conductivitate de două ori mai mare decît cuprul) și o rezistență la coroziune bună. Datorită acestor proprietăți, aluminiul este mult întrebuintat în industria electrotehnică.

Aluminiul are o culoarea albă-argintie, care cu timpul devine albastruie, din cauza oxidării la suprafață, o greutate specifică de $2,7 \text{ kg/dm}^3$, o rezistivitate, la 20°C, de $2,941 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ și un coeficient de variație a rezistivității cu temperatura de $0,004/^\circ\text{C}$.

În prezența aerului, aluminiul se acoperă cu un strat protector de oxid, care îl protejează contra coroziunii, îngreunînd în schimb, mult sudarea și lipirea lui. El se poate totuși lipi utilizînd anumite paste de lipit speciale.

În atmosferă umedă și în contact cu cuprul, aluminiul este repede distrus prin coroziune electrochimică, regiunea de contact fiind în aceste condiții o pilă galvanică locală cu o f.e.m. de valoare destul de mare. Din această

cauză, locurile de contact între aluminiu și cupru se protejează împotriva umezelii prin acoperire cu lacuri sau vopsele speciale.

Aluminiul are un coeficient de contracție la turnare pronunțat, care produce sufluri și retrageri și impune ca în general să se toarne sub presiune.

Aluminiul se întrebuințează la fabricarea benzilor pentru condensatoare cu hirtie (electrozi) și a electrozilor de condensatoare electrolitice, a colivilor, la motoarele asincrone în scurtcircuit (aluminiu turnat prin injecție sub presiune), a conductoarelor liniilor aeriene și subterane de transport de energie electrică, a conductoarelor pentru bobinaj, pentru instalațiile electrice interioare etc.

Faptul că la aceeași lungime și rezistență secțiunea cablurilor de Al este de circa 1,6 ori mai mare ca aceea a cablurilor de Cu reprezintă un dezavantaj în special în cazul cablurilor subterane, scumpind izolația cablului și instalația în general.

Aliajele aluminiului

Pentru obținerea unor proprietăți mecanice superioare, aluminiul se aliază cu Mg, Si, Fe sau Cu.

Cel mai utilizat aliaj al aluminiului este *aldreg*-ul, care conține următoarele adaosuri: 0,3—0,5% Mg, 0,4—0,7% Si și 0,2—0,3% Fe. El se folosește la confecționarea, prin trefilare, a conductoarelor pentru liniile aeriene.

Un alt aliaj al aluminiului, utilizat în special la înfășurările turboagregatelor de puteri foarte mari, este *condal*-ul, care conține mici procente de Fe, Mg, și Si. Greutatea specifică redusă a acestui aliaj, conductivitatea sa ridicată, rezistența la forțele mecanice care apar la viteze mari au permis mărirea puterii turbogeneratoarelor (peste 200 MVA).

Oțelul

Având un preț mult mai scăzut decât cuprul și aluminiul, o mare rezistență mecanică și putând fi laminat în profile foarte variate, oțelul se utilizează în electrotehnică pentru liniile de telecomunicații și de distribuție de energie electrică pentru puteri mici, pentru șinele de tramvai, căi ferate electrice și metrou, pentru miezurile (inimile) cablurilor electrice etc.

Oțelul folosit în electrotehnică (cu un conținut de 0,10—0,15% C) are densitatea de 7,8 kg/dm³, conductivitatea de 7—8 ori mai mică decât cuprul și rezistența de rupere de 70—75 kgf/mm².

Deoarece nu rezistă la coroziune, ruginind chiar la temperatura normală, oțelul folosit pentru conducerea curentului se protejează acoperindu-se cu un strat protector, de obicei de zinc.

În curent alternativ, la frecvențe ridicate, efectul pelicular se face puternic simțit. De aceea, în telecomunicații se utilizează conductoare bimetalice, cu inimă de oțel și înveliș de cupru, la care curentul circulă prin stratul superficial de cupru, restul secțiunii rămânând practic neutilizată. Conductoare bimetalice, de data aceasta sub formă de funie, pot fi indicate și pentru liniile de transport de energie electrică la 50 Hz, în cazul când conductoarele

de cupru, calculate din punct de vedere electric, au o secțiune mai mică decât aceea necesară rezistenței mecanice. Valoarea mare a rezistenței mecanice a acestui conductor permite reducerea numărului de stâlpi ai liniei, în comparație cu o linie cu conductoare de cupru, deci duce la ieftinirea liniei.

Fonta

Fierul cu un procent mare de carbon (1,1—4,5% C) dă fonta, care se utilizează la executarea rezistențelor pentru reostatele de pornire și reglare, precum și la fabricarea unor rezistențe de încălzire electrică pentru temperaturi până la 300—500°C. Din fontă sînt realizate în general și carcasele mașinilor electrice.

Zincul

În electrotehnică se folosește zincul cu greutatea specifică 7,14 kg/dm³, rezistivitatea la 20°C de $5,92 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ și rezistența la tracțiune de 11,2—13,3 kgf/mm². El se utilizează la confecționarea electrozilor pentru elemente galvanice, a lămelelor fuzibile pentru siguranțe și pentru protejarea unor suprafețe împotriva coroziunii (în atmosferă normală, zincul se acoperă cu un strat protector de oxid).

Argintul

Are o culoare albă, cu luciu metalic, greutate specifică 10,5 kg/dm³ și cea mai mare conductivitate electrică dintre toate metalele ($\rho = 1,6 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$). Este rezistent la oxidare la temperatura normală. Se utilizează la executarea contactelor, pentru armăturile condensatoarelor ceramice și cu mică, pentru conductoare folosite în înaltă frecvență, fire de suspensie pentru aparatele de măsurat etc.

Platina

Are o culoare albă-cenușie, o greutate specifică mare (21,45 kg/dm³), rezistivitatea la 20°C de $10,30 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$; rezistă la orice fel de coroziune și se prelucrează foarte bine, putîndu-se trage în fire extrem de subțiri (pînă la 0,001 mm).

Se întrebuințează la confecționarea contactelor electrice pentru aparate de precizie (de obicei aliată cu iridiul, platina singură fiind prea moale), pentru elementele de încălzire, cupluri termoelectrice (de ex. termocuplul Pt—Pt—Rh folosit pentru măsurarea temperaturii pînă la 1 600°C), siguranțe fuzibile în vid etc.

Wolframul

Wolframul sau tungstenul este metalul cu cea mai ridicată temperatură de topire ($3\,370^{\circ}\text{C}$). Putându-se trefila în fire foarte subțiri (până la $0,01\text{ mm}$ \varnothing) se utilizează la fabricarea filamentelor lămpilor electrice cu incandescență, a rezistențelor de încălzire pentru cuptoarele electrice, a electrozilor din tuburile electronice, a contactelor de rupere a arcului la întrerupătoare pentru curenți de mare intensitate etc.

Molibdenul

Are proprietăți analoge, dar inferioare celor ale wolframului și are aceleași întrebuințări.

Nichelul

Este un metal de culoare albă-cenușie, cu greutatea specifică de $8,9\text{ kg/dm}^3$ și cu rezistivitatea, la 20°C , de $8,7-9,52 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$. Din punct de vedere magnetic, el face parte din materialele feromagnetice. Este rezistent la oxidare chiar și la temperaturi ridicate.

Se întrebuințează în tehnica vidului, ca suport pentru filamentele lămpilor cu incandescență și al diferiților electrozi ai tuburilor electronice, la fabricarea contactelor electrice care funcționează în mediu de hidrocarburi, a rezistențelor de încălzire până la 900°C , ca material de protecție pentru piesele din oțel, pentru termocupluri (pur și aliat: Cu, Ni și CrNi), precum și pentru diferite aliaje.

Plumbul

Este un metal de culoare cenușie-albastră, cu greutate specifică $11,34\text{ kg/dm}^3$ și rezistivitatea, la 20°C , de $20,8 \cdot 10^{-2}\ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Are o rezistență la coroziune foarte bună, chiar și față de unii acizi puternici (acid sulfuric și clorhidric).

Se folosește la executarea învelișurilor (mantalelor) pentru cablurile electrice subterane, pentru plăcile acumuloarelor cu plumb, plăci de protecție contra razelor Roentgen, pigment roșu pentru vopsele și lacuri uleioase (miniu de plumb) etc.

Staniul

Staniul sau cositorul este un metal de culoare albă-argintie, cu greutatea specifică de $7,3\text{ kg/dm}^3$, rezistivitatea, la 20°C , de $11,4 \cdot 10^{-2}\ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ și temperatura de topire foarte coborâtă (232°C).

Se utilizează la acoperirea (cositorirea) unor metale pentru a le apăra contra coroziunii (staniul nu se oxidează la temperatura normală) și pentru diferite aliaje de lipire.

Mercurul

Este singurul metal lichid la temperatura obișnuită; are un aspect alb-argintiu, greutatea specifică $13,55 \text{ kg/dm}^3$ și rezistivitatea, la 20°C , de $95,8 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Este foarte toxic și se oxidează ușor în aer.

Se folosește pentru construcția lămpilor cu vapori de mercur, pentru contacte în relee și alte aparate, pentru electrozi de mercur, pentru redresoare cu baie de mercur etc.

b. Materiale de mare rezistivitate

Materialele de rezistivitate mare sînt diverse aliaje ale metalelor greu fuzibile (Cu, Ni, Mn, Cr, Fe) care se pot clasifica după utilizare, în:

1) aliaje pentru construcția aparatelor electrice de măsurat, a rezistențelor etalon și de precizie;

2) aliaje pentru reostate;

3) aliaje pentru aparate de încălzire electrică, industriale și casnice.

Aceste aliaje au un coeficient mic de variație a rezistivității cu temperatura, o rezistență electrică mare la temperatura de funcționare ($200\text{--}250^\circ\text{C}$ pentru aliaje din categoria 2 și $1\,000\text{--}1\,500^\circ\text{C}$ pentru aliajele din categoria 3) și o bună rezistență la coroziune (mai mare decît a elementelor componente).

Manganina este un aliaj care conține în general 86% Cu, 12% Mn și 2% Ni, de culoare roșiatică-cafenie, avînd rezistivitatea de $43 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura ($5\text{--}10$) $\cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Manganina face parte din prima categorie de materiale de mare rezistivitate, folosindu-se pentru fabricarea de rezistențe adiționale și șunturi, pentru rezistențe etalon și rezistențe de precizie etc.

Constantanul este un aliaj care conține 60% Cu și 40% Ni, cu rezistivitatea $50 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura (practic zero), de unde și denumirea sa. Încălzit pentru scurt timp (3 s) la o temperatură de 900°C și răcit în aer, se acoperă cu o peliculă de oxid izolantă. Face parte din a doua categorie de materiale de mare rezistivitate, folosindu-se pentru construcția reostatelor pentru tensiuni mici (sîrma se poate înfășura spiră lîngă spiră, fiind izolată numai de către propria sa peliculă de oxid).

Nichelina este un aliaj cu 25—35% Ni, 2—3% Mn și 67% Cu, cu rezistivitatea de $0,4 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ cu coeficient de variație a rezistivității cu temperatura de $20 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$. Este mai ieftină decît constantanul și face parte din a doua categorie de materiale de mare rezistivitate, fiind folosită pentru fabricarea reostatelor de pornire și reglare.

Cromnichelul este un aliaj cu 18—21% Cr și 79—80% Ni cu rezistivitatea, la 20°C , de $1,05 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ și un coeficient de variație a rezisti-

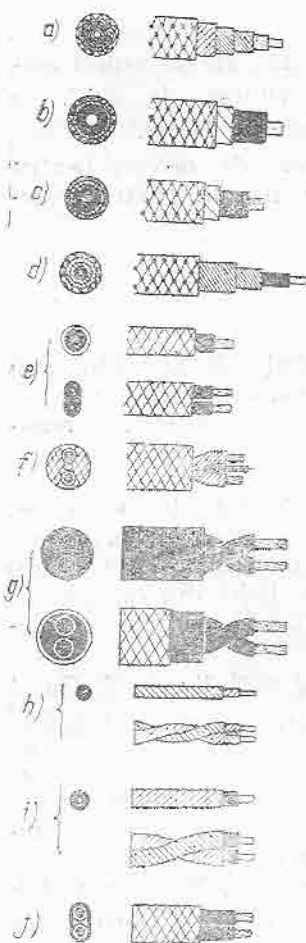


Fig. 10-1. Conducte electrice de cupru:

a — învelite, rezistente la intemperii; b — cu izolație de cauciuc; c — cor-don cu izolație de cau-ciuc; d — rezistente la intemperii, cu izolație de cauciuc; e — pentru cor-puri de iluminat; f — pen-tru suspendarea corpurilor de iluminat; g — cor-da-ne: MCU, MCUT, MCM și MCMR; h — conducte de sonerie cu izolație de bum-bac; i — idem, cu izo-lație de cauciuc; j — cor-don plat cu izolație de cauciuc.

vității cu temperatura de $14,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Poate rezista la temperaturi de lucru de 1.150°C , din care cauză este mult folosit sub diverse forme și compoziții, pentru fabricarea elementelor încălzitoare, făcând parte din a treia categorie de materiale de mare rezistivitate.

Tot în această categorie se încadrează și *fecralul* (15% Cr, 5% Al, 80% Fe) *kanthalul* (21% Cr, 5% Al, 3,8% Co, 70% Fe) și *cromalul* (64% Fe, 30% Cr, 4,5% Al și 1,5% C, Mn, Si).

c. Conductoare electrice

Conductoarele de bobinaj (STAS 6163-68 și 5924-70) se execută din cupru sau aluminiu și se deosebesc după forma și dimensiunile secțiunii transversale, precum și după tipul izolației. Secțiunile pot fi rotunde sau dreptunghiulare și se determină fără să se țină seama de grosimea izolației.

Conductoarele dreptunghiulare asigură o umplere mai bună la înfășurare decât cele rotunde.

Izolația conductoarelor de bobinaj se fabrică fie din materiale fibroase (hârtie, bumbac, mătase, azbest sau sticlă), fie dintr-un strat de lac electroizolant (email) care se aplică direct pe suprafața cuprului.

Conductoarele pentru linii electrice sînt acelea folosite în instalațiile electrice de utilizare și se fabrică din cupru, aluminiu și uneori din oțel.

În funcție de condițiile de exploatare, tipurile principale ale acestor conductoare sînt:

— *conductoare electrice neizolate* (STAS 3032-69 STAS 684-68 și STAS 3 000-69) care se folosesc în general la liniile aeriene de energie electrică și de telecomunicații; se execută din cupru, aluminiu și oțel-aluminiu, unifilar sau multifilar (funii);

— *conductoare electrice izolate* (fig. 10-1) și anume: conducte de cupru sau aluminiu cu izolație de policlorură de vinil (STAS 6 865-70), în execuție unifilară sau multifilară; conducte de aluminiu cu izolație de cauciuc (STAS 5 699-67); conducte izolate pentru telecomunicații (STAS 4 263-68); cordoane de policlorură de vinil pentru apa-

rate electrice de uz casnic sau scopuri similare (STAS 7 350-71); șnururi și cordoane electrice pentru utilizări casnice și semiindustriale (STAS 4 937-66); conducte de cupru pentru suspendarea corpurilor de iluminat; conductoare de sonerie din sîrmă de cupru izolate cu bumbac etc.

— *conduce de cupru armate* (STAS 5 577-63) care se folosesc numai la instalațiile electrice fixe, unde se pot produce loviri ale conductei (marcarale electrice, poduri rulante etc.).

Ele se execută din cupru acoperit cu o izolație din bumbac cauciucat peste care se pune o împletitură din fire textile impregnate cu un amestec bituminos, acoperindu-se la exterior printr-un înveliș din fire de oțel zincat.

d. Cabluri electrice

Cablurile electrice de forță sînt conductoare izolate compuse din unul sau mai multe fibre flexibile, înzestrate cu învelișuri de protecție care apără conductorul și izolația împotriva acțiunii umezelii, deteriorărilor mecanice etc. Ele se folosesc la transportul energiei electrice prin linii subterane sau submarine.

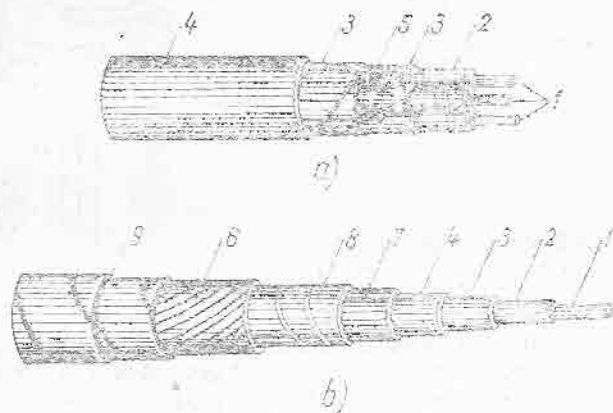


Fig. 10-2. Cabluri cu izolație de cauciuc, în manta de plumb:

a — cablu CP; b — cablu CPS; 1 — cupru; 2 — cauciuc vulcanizat; 3 — bandă de pinză de bumbac cauciucată; 4 — manta de plumb; 5 — umplutură din fire textile; 6 — strat de sfoară de cîneșă impregnată; 7 — masă izolantă; 8 — înfășurare de hîrtie impregnată; 9 — armătură din benzi de oțel.

Cabluri cu izolație de cauciuc în manta de plumb (fig. 10-2) se execută conform STAS 2 405-71, pentru tensiuni nominale de 500 V și 3 000 V curent alternativ și 1 000, 3 000 și 6 000 V curent continuu.

Conductoarele de cupru se acoperă cu o înfășurare din bumbac, hirtie de cablu sau celofan, se izolează apoi cu cauciuc și se acoperă cu o pînză cauciucată pe ambele fețe.

Astfel izolate, conductoarele se înfuniază cu umplutură de fire textile pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat în două benzi de pînză cauciucată și îmbrăcat într-o manta de plumb etanșă, peste care se așază diferite învelișuri de protecție (iută sau cînepă impregnată și benzi de oțel protejate împotriva acțiunilor chimice).

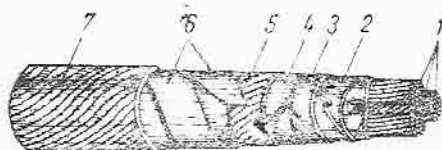


Fig. 10-3. Cablu cu izolație de hirtie, în manta de plumb:

- 1 — cupru; 2 — hirtie impregnată;
- 3 — manta de plumb; 4 — înveliș de protecție din hirtie impregnată etc;
- 5 — umplutură din materiale textile;
- 6 — armătură din benzi de oțel; 7 — înfășurare din materiale textile impregnate.

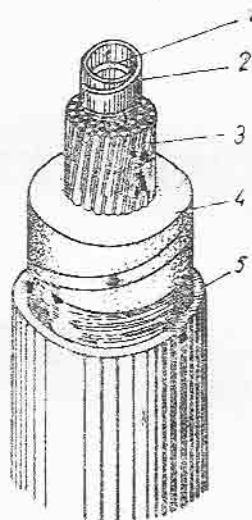


Fig. 10-4. Cablu cu circulație de ulei:

- 1 — canal pentru ulei; 2 — spirală suport; 3 — conductor;
- 4 — izolație de hirtie; 5 — manta de plumb.

Cabluri cu izolație de hirtie în manta de plumb (fig. 10-3) se execută conform STAS 4 481-66, pentru tensiuni de 1 000, 6 000 și 10 000 V. Conductoarele de cupru se izolează cu hirtie de cablu impregnată cu ulei, apoi se înfuniază împreună cu umplutură din sfoară de hirtie pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat cu mai multe straturi de hirtie de cablu și apoi îmbrăcat într-o manta etanșă de plumb, peste care se pune un înveliș protector de iută, cînepă sau alt material asemănător impregnat, și una sau două benzi de oțel protejate împotriva agenților chimici (cablu „armat“).

Cabluri cu ulei (fig. 10-4) se execută pentru tensiuni înalte pînă la 120 000 V. Uleiul circulă liber de-a lungul cablului, printr-un canal axial obținut dintr-o spirală de cupru pe care se înfășoară conductorul ce formează inima cablului. Canalul este legat cu rezervoare speciale de alimentare umplute cu ulei. Cablul este, de obicei, izolat cu hirtie și îmbrăcat în manta de plumb.

3. MATERIALE SEMICONDUCTOARE

Cărbunele

Cărbunele se prezintă sub formă de trei varietăți: diamant, grafit și cărbune amorf.

Greutatea specifică este cuprinsă între $3,51 \text{ kg/dm}^3$ pentru diamant și $1,3 \text{ kg/dm}^3$ pentru cărbune amorf, iar rezistivitatea, la 20°C , variază de la $4,74 \cdot 10^{14} \Omega \text{ cm}$ pentru diamant (care este deci un izolant electric) la $4 \Omega \text{ cm}$ pentru cărbunele amorf și $0,00283 \Omega \text{ cm}$ pentru grafit.

În electrotehnică se utilizează cărbunele amorf și uneori grafitul pentru numeroase produse cum sînt: electrozi, perii, contacte, filamente electrice, rezistențe pentru încălzire, rezistențe chimice etc.

Electrozii de cărbune se folosesc la electroliza unor substanțe în stare topită, la cuptoarele electrice cu arc, la lămpile cu arc și proiectoare, la elemente galvanice etc.

Periile de cărbune, fabricate conform STAS 4199-71, servesc drept contacte mobile (alunecătoare) între partea mobilă și partea fixă a mașinilor electrice.

Cărbunele pentru microfoane, întrebuițat sub formă de granule, blocuri sau membrane, se fabrică din antracit care se granulează și se supune unor tratamente termice în funcție de forma sub care se întrebuițează.

Rezistențele chimice pe bază de cărbune se folosesc în radiotehnică, în tehnica măsurărilor, la reostate de reglaj etc.

Seleniul

Seleniul pur este casant la temperatura obișnuită, dar la 60°C devine plastic și se poate presa în bare.

O proprietate însemnată a seleniului cristalin, care determină utilizarea lui în construcția celulelor fotoelectrice, constă în faptul că prin iluminare, conductivitatea sa electrică crește de circa 15 ori. Întrerupînd iluminarea, conductivitatea electrică scade repede. Același efect îl au asupra lui razele Roentgen și razele provenite prin dezintegrarea radioactivă.

Cristalele de seleniu prezintă, de asemenea, o *conductivitate unilaterală*, ceea ce determină utilizarea seleniului în construcția redresoarelor uscate.

Germaniul

Este un metal de culoare cenușie-deschisă, cu greutatea specifică de $5,36 \text{ kg/dm}^3$. Conductivitatea sa variază în limite mari, de la $10^3/\Omega \text{ cm}$ la $10^2/\Omega \text{ cm}$, după impuritățile pe care le conține.

Germaniul se utilizează la fabricarea redresoarelor uscate (detectoare cu cristal), al diodelor, a tranzistoarelor etc.

Siliciul

Siliciul se prezintă sub formă cristalină sau amorfă. El are greutatea specifică de $2,3 \text{ kg/dm}^3$ și conductivitatea electrică care variază în limite mari: $7 \cdot 10^2 / \Omega \text{ cm}$ — $10^{-2} / \Omega \text{ cm}$.

Siliciul se utilizează la fabricarea diferitelor tipuri de detectoare, a amplificatoarelor și pentru redresoare de curenți mari. Un adaos de 4% Si în oțelul folosit ca table de transformator (tole silicioase) reduce pierderile în fier.

4. MATERIALE IZOLANTE

Materialele izolante se împart, după natura lor, în *izolanți organici* care pot fi solizi sau lichizi și *izolanți anorganici*.

Izolanții organici sînt compuși naturali sau sintetici ai carbonului, cu bune proprietăți de izolare electrică.

Izolanții anorganici sînt materiale izolante din punct de vedere electric, care nu au carbon în constituție. Din această cauză rezistă la temperaturi mai înalte, nu ard și au punctul de topire foarte ridicat. Față de izolanții organici, sînt mai fragili și se prelucurează mai greu.

După temperatura la care pot fi utilizate, materialele izolante se împart în *clase de izolație*: Y, A, E, B, F, H, C (STAS 6 247-60).

În Republica Socialistă România se fabrică aproape toate felurile de materiale izolante.

v. Izolanți organici solizi

Fire și țesături electroizolante

Firele și țesăturile sînt materiale flexibile formate din fibre vegetale, animale, artificiale sau sintetice.

Firele de bumbac și *de in* se folosesc la izolarea conductoarelor de bobinaj și la împletituri de protecție ale conductoarelor izolate în cauciuc. Firele de iută se folosesc la executarea învelișurilor de cabluri subterane, iar firele de cîneapă la umplerea golurilor izolației la cablurile polifazate.

Firele animale, reprezentate prin mătase naturală, se folosesc la izolarea sîrmelor subțiri de bobinaje.

Prin impregnarea în ulei sau lăcuire, firele își măresc rezistența mecanică și electrică, rigiditatea dielectrică și conductivitatea termică.

Țesăturile electroizolante se fabrică sub formă de benzi, pinze sau țesături, din firele menționate. Ele pot fi neimpregnate, lăcuite sau impregnate cu lacuri bituminoase.

Materiale în foi și fibră

Hîrtia electroizolantă se fabrică din celuloză extrasă din lemn sau din fibre de bumbac, în sau iută și se împarte în mai multe sorturi, după utilizarea pe care o are.

Hîrtia pentru izolarea tolelor magnetice este foarte subțire (grosimea 30μ), are greutatea specifică de $0,67 \text{ g/cm}^3$, este foarte rezistentă și este satinată pe o parte pentru a nu forma încrețituri.

Hîrtia pentru cabluri de energie are o grosime de $0,08-0,17 \text{ mm}$, o mare rigiditate dielectrică și o mare rezistență la rupere și la îndoiri.

Hîrtia pentru condensatoare are o grosime foarte mică ($7-24\mu$), greutatea specifică variind între 1 și $0,97 \text{ g/cm}^3$, este foarte rezistentă la rupere. Dacă se impregnează cu ulei, tensiunea de străpungere crește de la 400 kV/cm la $2\,500-3\,000 \text{ kV/cm}$.

Hîrtia pentru cabluri telefonice are grosimea de $0,05 \text{ mm}$ și trebuie să aibă o rezistență mare la tracțiune, la îndoiri duble și la răsucire.

Cartonul electroizolant sau electrotehnic se fabrică, de obicei, din celuloză de lemn și pastă de cîrpe și este de mai multe feluri.

Cartonul pentru tuburi de izolare și protecție STAS (938-68) are grosimea de $0,4-0,8 \text{ mm}$.

Cartonul prespan (STAS 1746-68) se fabrică în rulouri cu grosimea de $0,1-0,5 \text{ mm}$ sau în foi cu grosimea de $1-3 \text{ mm}$. Rigiditatea dielectrică este de circa 100 kV/cm și crește mult dacă materialul se usucă și se fierbe în ulei de transformator. Prespanul se utilizează mult în construcția mașinilor, a transformatoarelor și a aparatelor electrice, pentru separații (șaibe), izolație de creștătură, izolație între straturi și față de masă etc.

Mase plastice

Masele plastice sînt materiale care au proprietatea de a se deforma plastic sub acțiunea temperaturii și presiunii și a lua astfel forma dorită. Datorită prelucrării lor uoare, chiar la forme complicate (presarea în matriță), precum și bunelor proprietați mecanice și electrice, ele au o largă întrebuințare în electrotehnică.

Fenoplastele sînt fabricate din rășini fenol-formaldehidice cu umpluturi originale sau anorganice.

Ele au o rezistivitate de suprafață de $10^3-10^6 \text{ M}\Omega$, o rigiditate dielectrică (pentru grosimea de 4 mm) de circa 17 kV/mm , și rezistă la temperaturi pînă la $125-150^\circ\text{C}$.

Aminoplastele sînt fabricate din uree și formaldehidă cu umplutură de rumeguș de lemn sau celuloză. Ele sînt mai higroscopice și mai puțin rezistente la temperatură decît fenoplastele.

Polistirenul se obține prin sinteză din etilenă și benzen.

Are higroscopicitate redusă și proprietați electroizolante foarte bune, dar se înmoaie la temperaturi mici.

Se utilizează în tehnica frecvențelor înalte, pentru obținerea lacurilor utilizate la izolația cablurilor etc.

Sticla organică sau *plexiglasul* are greutatea specifică de $1,18 \text{ g/cm}^3$, o constantă dielectrică de 3,6 iar sub acțiunea arcului electric, dezvoltă gaze, care ajută la stingerea arcului, proprietate care îl face să fie utilizat la stingerea arcului electric în descărcătoare.

Materiale plastice stratificate

Pertinaxul se fabrică prin presarea la cald a hîrtiei impregnate cu rășini sintetice (fenol-formaldehidice). Este un material rigid, cu aspect lucios și neted, în formă de plăci sau de tuburi. Are greutatea specifică de $1,05 \text{ g/cm}^3$ (tuburi) — $1,4 \text{ g/cm}^3$ (plăci), rezistivitatea de volum de circa $10^{10} \Omega \text{ cm}$, rezistența la încălzire de 150°C și se poate prelucra mecanic cu ușurință. Pertinaxul se întrebuințează numai în joasă frecvență, la construcția aparatelor de înaltă și joasă tensiune, în telefonie etc.

Textolitul este un material similar cu pertinaxul, fabricat din țesătură impregnată (în loc de hîrtie impregnată). Are proprietăți mecanice mai bune decît pertinaxul, însă proprietățile electrice sînt mai reduse și costul mai ridicat.

Se utilizează la fabricarea pieselor izolante care suportă sarcini de șoc sau sînt supuse frecării (de exemplu, la întreruptoare).

Materiale elastice

Cauciucul natural se obține din sucule lăptos al unor arbori și plante producătoare de cauciuc.

Deoarece în stare pură este *termoplastic*, cauciucul se transformă prin „vulcanizare“ (adaos de sulf în amestec și încălzire în autoclave cu alur saturat la temperatura de $140\text{--}150^\circ\text{C}$) într-un material *termoreactiv*.

Cauciucul vulcanizat se utilizează la izolarea conductoarelor și a cablurilor electrice, la confecționarea tuburilor izolante, a mănușilor și galoșilor izolanți, a covorașelor de protecție etc. Deoarece sub influența ozonului ce se produce la descărcările electrice în aer cauciucul „îmbătrînește“ (devine fragil și crapă), el nu se întrebuințează decît rar la tensiuni înalte. Un alt dezavantaj îl constituie și rezistența mică la încălzire, la acțiunea uleiurilor minerale și la acțiunea luminii și a razelor ultraviolete.

Dacă se adaugă sulf în cantități mai mari (30—35%), se obține *cauciucul tare* sau *ebonita*, folosită în telecomunicații și în instalații electrice de curenți mici.

Cauciucul sintetic este fabricat pe cale chimică, prin sinteza unor substanțe organice și are calități dielectrice asemănătoare cauciucului natural, avînd față de acesta avantajul de a fi mult mai rezistent la acțiunea uleiurilor minerale.

Lacuri electroizolante

Lacurile sînt soluții coloidale ale rășinilor, biturilor, sau uleiurilor sicative (care formează baza lacului) în solvenți volatili. Ele se aplică în stare lichidă, iar la uscare, solventul se volatilizează.

Lacurile rășinoase. *Lacul de bachelită* (soluția în alcool a bachelitei) are o rezistență mecanică bună, însă pelicula este puțin elastică și are tendință de îmbătrînire termică. Se folosește în producția pertinaxului și textolitului, la izolația aparatelor electrice etc.

Lacul de șelac (soluția șelacului în alcool) are proprietăți mecanice și electrice bune, aderență mare, însă este higroscopic și are aciditate mare. Deoarece se usucă în aer, se utilizează pentru reparații urgente și pentru lipit.

Lacurile de celuloză sînt soluțiile unor compuși ai celulozei. Pelicula are rezistență mecanică mare, este lucioasă și rezistentă la benzină și ulei. Avînd o aderență redusă la metale, se utilizează în special la impregnarea țesăturilor de bumbac, a conductoarelor care funcționează în medii de benzină, ulei sau ozon (conductoare de automobil și avion).

Lacurile uleioase sînt fabricate pe bază de uleiuri sicative (ulei de in și de tung). Pelicula este tare, lucioasă, foarte elastică și rezistentă la ulei, nu se înmoale la căldură, însă îmbătrînește cu timpul. Se întrebuițează ca emailuri, ca lacuri de acoperire și de impregnare.

Mase izolante (compounduri)

Compoundurile sînt izolante folosite la impregnare, acoperire sau umplere, obținute prin tratamente speciale.

Ele pot fi solide (fabricate pe bază de bituri și rășini), viscoase (pe bază de ulei mineral) sau lichide (din ulei de transformator rafinat).

Bitumul este folosit în special la impregnări, în construcția mașinilor electrice. El asigură o impregnare mai rezistentă la umezeală și mai impermeabilă decît aceea dată de lacuri, în schimb — fiind termoplastic — este mai puțin rezistent la încălzire.

Parafina este un material ceros ce se obține din țitei parafinos. Are stabilitate chimică mare, însă la temperaturi ridicate se oxidează ușor.

Se folosește, împreună cu alte materiale ceroase similare (cerezina, halovaxul, oleovaxul etc.), la impregnarea lîrtiei de condensatoare, la umplerea bobinelor de înaltă frecvență etc.

b. Izolanți organici lichizi

— Uleiuri minerale

Uleiul de transformator. Uleiul de transformator (STAS 811-67) se extrage prin distilarea fracționată a țiteiurilor neparafinoase, urmată de o rafinare. El are constanta dielectrică $\epsilon_r = 2,3$ — rezistivitatea de $5 \cdot 10^{14-15} \Omega \text{ cm}$ și rigiditatea dielectrică de 125 kV/cm.

Viscozitatea redusă permite pătrunderea lui în izolația bobinelor; punctul de inflamabilitate ridicat (145°C) micșorează pericolul de inflamare sau de explozie, iar punctul de congelare coborât (-20° la -30°C) permite folosirea lui la aparatele electrice montate în exterior.

Apa și impuritățile din uleiul de transformator reduc sensibil rigiditatea dielectrică și măresc pierderile dielectrice; de aceea, uleiurile trebuie curățate periodic. Curățirea uleiurilor se face prin uscare, filtrare, centrifugare în vid.

Uleiul de condensator se obține prin purificarea uleiului de transformator. El are o rigiditate dielectrică mai mare (200 kV/cm) și pierderi în dielectric mai mici decât uleiul de transformator.

Uleiurile sintetice

Întrucât uleiul de transformator are marele dezavantaj de a fi inflamabil, au fost realizate anumite uleiuri izolanțe având în compoziția lor clor. Aceste uleiuri au proprietatea de a nu fi inflamabile și se folosesc în construcția transformatoarelor și a condensatoarelor de forță. Ele se întindesc sub diferite denumiri comerciale, printre care:

Sovolul. Este un lichid neinflamabil, viscos și toxic, cu o rigiditate dielectrică de $140-200\text{ kV/cm}$.

Sovtolul (64% sovul și 36% triclorbenzen) are aceleași proprietăți ca și sovoul, însă spre deosebire de acesta are un punct de congelare mai scăzut (-30°C față de $+5^{\circ}\text{C}$), ceea ce prezintă un avantaj.

Uleiurile sintetice se întrebuintează la impregnarea hirtiei de condensatoare (sovolul) sau în transformatoare (sovtolul).

Uleiuri vegetale

Uleiul de ricin (STAS 2317-61) se obține din sămînță de ricin; are o viscozitate mai mare decât uleiul de transformator, constanta dielectrică $\epsilon_r=4,2-4,5$, rezistivitatea la 20°C , de $10^{10}-10^{12}\ \Omega\text{ cm}$ și o rigiditate dielectrică de $120-180\text{ kV/cm}$.

Se utilizează la impregnarea condensatoarelor cu hirtie pentru tensiuni continue.

c. Izolanți anorganici

Azbestul este un material fibros, cu structura cristalină, compus din silicat de magneziu. Se folosește pentru izolații rezistente la temperaturi ridicate și la fabricarea anumitor mase plastice. Se fabrică sub forme de fire, sfoară, țesături, hirtie și carton. Azbestul, amestecat cu ciment și cu apă, dă prin presare la rece, **azbocimentul**, folosit la confecționarea camerelor de stingere a arcului electric, în aparatele electrice, la tablourile de distribuție, a postamentelor etc.

Mica este un material anorganic cristalin, stratificat, compus din silicați de metale alcaline, care se desfac în foițe foarte subțiri ($0,01\text{ mm}$) și are proprietăți electroizolante, elasticitate și flexibilitate remarcabile. Se

folosește ca izolanț, atât la temperaturi mari, cât și la șocuri de temperatură, la joasă ca și la înaltă tensiune, ca izolanț la colectoarele mașinilor electrice, la bobinaje, în condensatoare electrice, în aparate de încălzit etc.

Sticlă. În electrotehnică sticlă se întrebuințează la fabricarea lămpilor electrice și a izolatoarelor. Din fire de sticlă se fac izolații electrice. Țesăturile de sticlă se execută în benzi (pentru izolarea mașinilor electrice) sau în țesături late (pentru fabricarea textolitului special și a unor micanite). Din sticlă se execută de asemenea, emailuri, care se aplică uniform pe piese de metal, pe rezistențe electrice etc., ca strat izolanț sau de protecție.

Materiale ceramice. Materialele ceramice se folosesc în electrotehnică la fabricarea izolatoarelor de joasă și înaltă tensiune, a condensatoarelor și a suporturilor rezistențelor, reostatelor și aparatelor.

Pietre naturale ceramice. În această categorie intră diverse roci care se folosesc în starea în care se găsește în natură. Aceste materiale sînt: *bazaltul*, *marmura* și *ardezia*. Dintre ele, marmura are cea mai largă întrebuințare; este folosită la fabricarea plăcilor pentru tablouri de distribuție, a suporturilor de aparate etc.

5. MATERIALE MAGNETICE

Materialele magnetice se împart după mărimea ciclului de histerezis, în materiale magnetice moi (ciclu îngust) și dure (ciclu larg).

a. Materiale magnetice moi

Acestea sînt materiale magnetice caracterizate prin permeabilitate mare, forță coercitivă mică și pierderi prin histerezis mici. Ele au ca material de bază fierul pur sau în aliaj cu alte metale. Impuritățile, cum sînt: carbonul, sulful, fosforul, siliciul, au influențe dăunătoare asupra calităților magnetice ale fierului și aliajelor lui, mărind forța coercitivă, micșorînd permeabilitatea și inducția la saturație.

Adăsurile, ca nichelul și cobaltul, influențează favorabil proprietățile magnetice, producînd permeabilitate mare și inducție de saturație mare. Siliciul mărește rezistivitatea materialului, deci micșorează pierderile prin curenți turbionari și favorizează separarea carbonului, ceea ce are drept rezultat micșorarea forței coercitive și a pierderilor prin histerezis.

Aluminiul, în procente de 10—16%, imprimă permeabilitate foarte mare și pierderi mici.

Prelucrările mecanice înrăutățesc similitor calitățile magnetice, mărind în special forța coercitivă.

Tratamentele termice permit îmbunătățirea calităților mecanice și magnetice. Ele se aplică atât după turnarea materialului, cât și după prelucrările mecanice.

Fierul. Fierul are permeabilitatea relativă inițială de 250—500, permeabilitatea maximă 5 000—15 000, forța coercitivă 0,36—0,8 Oe și inducția de saturație circa 20 000 Gs. Din fier se construiesc piesele polare și miezurile pentru bobine, în mașinile electrice, juguri pentru electromagneți, carcase pentru ecranare magnetică etc. Fierul carbonil, obținut prin aglomerare cu lianți a pulberii de fier, este folosit la miezurile bobinelor utilizate în înaltă frecvență.

Fonta și oțelul turnat se deosebesc de fier prin conținutul în carbon. Au proprietăți mecanice bune. Se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, ca miezuri de poli și de electromagneți, carcase etc., având uneori rolul dublu de material magnetic și piese mecanice.

Aliajele fier-siliciu. Tabla silicioasă Siliciul se adaugă în procente variind de la 0,5 la 4,5%, în scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari. Pierderile totale, la o inducție maximă de 10 000 Gs, variază în acest caz de la 3,6 la 0,7 W/kg. Dezavantajul principal al introducerii siliciului ca element de aliere constă în reducerea inducției de saturație și în mărirea fragilității, ceea ce limitează procentul de siliciu la 4,5%. Grosimea tablelor este de 0,35; 0,5; 0,75; 1 și 1,5 mm. Tablele se izolează pe una din fețe prin oxidare, lăcuire sau lipirea unei foițe de hirtie.

Aliajele fier-nichel se deosebesc prin pierderi magnetice mici și permeabilitate mare în câmpuri magnetice slabe, fapt pentru care multe dintre ele poartă denumirea de *permalloy*. Permalloyul are permeabilitatea relativă inițială 10 000, cea maximă 100 000, forța coercitivă 0,02 Oe și inducția maximă 6 000 Gs. Din permalloy se confecționează miezuri de fier pentru aparate de telecomunicații, pentru aparate de măsurat de mare precizie, pentru transformatoare speciale, relee speciale, ecrane magnetice etc.

Aliaje speciale. În scopuri speciale s-au realizat aliaje magnetice cu proprietăți remarcabile. Astfel, *supermalloyul* are permeabilitatea relativă maximă de 1 500 000 și forța coercitivă foarte mică, de 0,005 Oe. Ciclul său de histerezis este practic un dreptunghi foarte subțire.

Permendurul este un aliaj de fier și cobalt cu inducția de saturație mărită (24 500 Gs).

Perminvarul (fier+ nichel+cobalt) este un material cu permeabilitatea magnetică practic constantă.

Feritele sînt compuși de metale (nichel, mangan, zinc, cupru, etc.) și oxid de fier, măcinate fin și presate (sinterizate). Se folosesc în circuite de înaltă frecvență, ca miezuri de bobine.

b. Materiale magnetice dure

Aceste materiale au forța coercitivă, inducția remanentă și suprafața ciclului de histerezis mari. Din materiale magnetice dure se fabrică magneți permanenți.

Oțeluri magnetice. Oțelurile elaborate în cuptoare Martin sau în cup-toare electrice cu arc au calități magnetice bune, dacă nu conțin carbon, sulf și fosfor. Wolframul, cromul, cobaltul sînt adaosuri favorabile.

Tratamentele termice îmbunătățesc calitățile magnetice ale oțelurilor și constau în general în călirea materialului.

Aliaje de aluminiu și nichel (AlNi). Sînt aliaje de fier cu nichel (14—22%) și aluminiu (9—15%), uneori în compoziție intrînd și cobaltul (12—24%), (Alnico) și cuprul (3—4%). Inducția remanentă este $B=5\,000\text{--}12\,000\text{ Gs}$; iar forța coercitivă $H_c=750\text{--}500\text{ Oe}$. Un procedeu de îmbunătățire a calității magneților permanenți constă în turnarea și răcirea lor în prezența unui cîmp magnetic constant.

Magneți sinterizați. Materialele magnetice Alni și Alnico au dezavantajul că nu pot fi prelucrate mecanic decît prin rectificare. Din această cauză, s-a recurs la fabricarea magneților permanenți prin sinterizare, din pulberile diferitelor elemente care constituie oțelul Alni sau Alnico, bine amestecate între ele și presate. Operația este rentabilă numai pentru piese mici, cu o greutate sub 50 g și în cantități mai mari decît 10 000 de bucăți. Prin această metodă se fabrică magneți pentru : picupuri, căști de radio și de telefoane, relee, aparate de măsurat, giroscopae, motoare și generatoare mici etc.

CAPITOLUL XI

MĂSURĂRI ELECTRICE

1. GENERALITĂȚI ASUPRA APARATELOR ELECTRICE DE MĂSURAT

Fabricarea în țara noastră a aparatelor electrice de măsurat a început numai după 23 August 1944, la fabricile Electromagnetica, Electroprecizia, Electronica ș.a. create de regimul de democrație populară.

a) *Clasificare.* Principalele aparate electrice de măsurat sînt: ampermetrele — pentru măsurarea curentului; voltmetrele — pentru măsurarea tensiunii; ohmmetrele — pentru măsurarea rezistenței; wattmetrele — pentru măsurarea puterii; contoarele — pentru măsurarea energiei; cosfi-

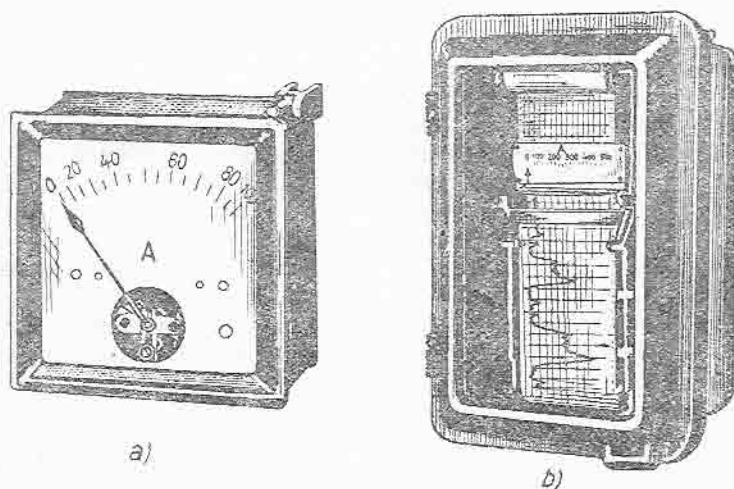


Fig. 11-1. Ampermetru:
a — indicator; b — inregistrator.

metrele (sau fazmetrele) — pentru măsurarea factorului de putere (sau a diferenței de fază), frecvențmetrele — pentru măsurarea frecvenței.

După cum aparatul indică mărimea măsurată în multipli sau submultipli ai unității de măsură, se numește corespunzător: miliampermetru, kiloampermetru, kilowattmetru, megawattmetru, megohmmetru etc.

În tabela 11-1 sînt arătate, după mărimea măsurată și unitatea de măsură în care se exprimă rezultatul măsurării, aparatele electrice de măsurat întîlnite în mod curent în industrie.

După modul cum indică valoarea mărimii măsurate, aparatele electrice de măsurat pot fi:

— *aparate indicatoare*, care dau valoarea mărimii măsurate în momentul măsurării. Ele formează marea majoritate a aparatelor folosite în practică. Valoarea mărimii este indicată de un ac indicator care se mișcă în fața unei scări gradate (fig. 11-1, a). Ele se reprezintă pe scheme printr-un cerc în care se scrie unitatea de măsură sau multiplii și submultiplii ei (de ex. în tabela 11-1 nr. 1, 2, 3, 4, 6 și 7);

— *aparate înregistratoare*, care inseriu cu cerneală, pe o hirtie în mișcare uniformă, curbă variației mărimii respective în funcție de timp. Pe scheme ele se simbolizează printr-un pătrat cu aceeași notație ca mai sus. Aceste aparate au și ac indicator, care permite citirea în fiecare moment a valorii mărimii (fig. 11-1, b);

— *aparate integrale sau contoare* sînt aparatele care măsoară măriri în expresia cărora intră și timpul (energia activă, energia reactivă etc.). Pe scheme ele se reprezintă printr-un pătrat cu un dreptunghi deasupra lui (în tabela 11-1 nr. 5).

După felul curentului la care pot fi utilizate, aparatele sînt:

- de curent continuu;
- de curent alternativ;
- de curent continuu și alternativ.

După principiul pe care se bazează funcționarea aparatelor electrice de măsurat (propriu-zis funcționarea dispozitivului de măsurat), aparatele întîlnite mai des sînt: aparate magnetoelectrice, aparate electromagnetice, aparate electrodinamice, aparate termice, aparate de inducție, aparate de vibrație.

b) *Elemente constructive*. În general, orice aparat de măsurat are următoarele elemente componente principale:

— un *organ* (sau dispozitiv) *de măsurare*, care funcționează pe baza unuia din principiile care se vor arăta mai departe;

— un *ac indicator*, solidar cu partea mobilă a dispozitivului de măsurare;

— un *cadran cu o scară gradată* în fața căreia se mișcă acul indicator;

— unul sau mai multe dispozitive *pentru producerea cuplului antagonist*, în sens contrar cu cuplul produs de dispozitivul de măsurat;

— un *corector* pentru reglarea acului pe reperul zero;

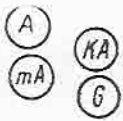

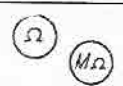

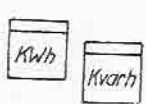


— un *amortizor* pentru a amortiza oscilațiile acului;

- *carcasa* în care este cuprins aparatul;
- *bornele* pentru legarea aparatului în circuit.

Dispozitivul pentru producerea cuplului antagonist poate fi un dispozitiv electric, analog celui de măsurare (la aparatele de tip *logometru* — destinate să măsoare raportul a două mărimi electrice).

Tabela 11-1

Aparatele de măsurat întâlnite în mod curent în industrie

Nr. crt	Mărimea măsurată	Denumirea aparatelor	Semnul convențional folosit în schemele electrice
1	Curent	ampermetru kiloampermetru miliampermetru galvanometru	
2	Tensiune	voltmetru kilovoltmetru milivoltmetru	
3	Rezistența electrică	ohmmetru megohmmetru	
4	Puterea electrică (activă)	wattmetru kilowattmetru	
5	Energie electrică : a) activă b) reactivă	contor de energie activă contor de energie reactivă	
6	Factorul de putere (defazajul)	cosfimetru (fazmetru)	
7	Frecvența	frecvențmetru	

c) *Principiul de funcționare.* După cum s-a mai spus, funcționarea aparatelor de măsurat electrice se bazează pe anumite fenomene electrice, în funcție de care se încadrează în anumite categorii. În cele de mai jos se vor descrie principiile de funcționare ale celor mai importante categorii de aparate electrice.

Aparate magnetoelectrice. Perincipiul de funcționare al acestor aparate se bazează pe acțiunea care se execută între un magnet permanent și o bobină mobilă, plasată în câmpul magnetic al magnetului, în momentul în care bobina este parcursă de curentul de măsurat.

Un asemenea aparat (fig. 11-2) este constituit dintr-un magnet permanent M , o bobină B , un ac indicator A , menținut în poziția de zero prin resortul antagonist R (care se opune mișcării acului) și o scară gradată S . Bobina este străbătută de curent și se poate roti în jurul axului O sub influența forțelor electromagnetice F , ce iau naștere asupra spirelor parcurse de curent electric. Aceste forțe se exercită asupra curenților din spirele plasate perpendicular pe planul hirtiei și ele constituie un cuplu electromagnetic (cuplu motor), care rotește bobina. Deoarece forțele electromagnetice sînt proporționale cu curentul I care le produce, cuplul motor C va fi, de asemenea proporțional cu I adică

$$C = kI, \quad (11.1)$$

unde k este un factor constant de proporționalitate.

Odată cu bobina se rotește și acul indicator, pînă cînd resortul este întins atît de tare, încît cuplul său rezistent C_r ajunge să echilibreze cuplul electromagnetic C , care depinde de valoarea I a curentului care trece prin bobina B ; deci unghiul α de rotație a acului indicator depinde de valoarea curentului I .

Pe acest principiu se construiesc ampermetrele, voltmetrele și ohmmetrele magnetoelectrice. Scara gradată în fața căreia se mișcă vîrfurile acului se etalonează direct în amperi sau în volți, după cum aparatul este un ampermetru sau un voltmetru.

Deoarece cuplul electromagnetic C este proporțional cu curentul I , rezultă că, în cazul curentului alternativ, cuplul va fi alternativ, și va tinde să deplaseze bobina și acul (adică echipajul mobil) cînd într-un sens, cînd în sens contrar. Din această cauză, aparatele magnetoelectrice nu pot fi folosite în curent alternativ.

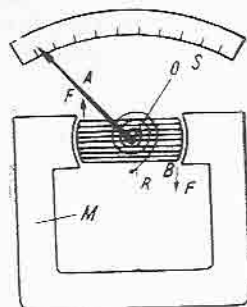


Fig. 11-2. Aparat magnetoelectric.

Aparate feromagnetice (electromagnetice). Organul de măsurare al acestor aparate este alcătuit dintr-o bobină B (fig. 11-3) străbătută de curent, o armătură de oțel moale F , un ac indicator A , menținut în poziția de zero de resortul antagonist R și o scară gradată S . Când bobina B este străbătută de curentul I , asupra armăturii F se exercită o forță de felul forței portante pe care o exercită un electromagnet și care, după cum se știe, este proporțională cu pătratul inducției magnetice. Deoarece inducția magnetică este proporțională cu intensitatea curentului care produce această inducție magnetică, forța care atrage armătura F este proporțională cu I^2 . Armătura putându-se roti în jurul unui ax de rotație, după cum se observă pe figură, forța de atracție creează un cuplu C , de asemenea proporțional cu I^2 .

Scara se etalonează în amperi sau în volți. Deoarece cuplul C , care acționează asupra echipajului mobil, este proporțional cu pătratul curentului (I^2), rezultă că acest cuplu va avea totdeauna o valoare pozitivă, oricare ar fi sensul curentului, dat fiind că pătratul unei valori este totdeauna pozitiv. În consecință, aparatele electromagnetice pot fi întrebuințate atât în curent continuu, cât și în curent alternativ. Aceste aparate fiind mai robuste, se întilnesc foarte des în practică. Pe acest principiu se construiesc ampermetrele și voltmetrele electromagnetice.

Aparatele electrodinamice. Principiul de funcționare al acestor aparate se bazează pe acțiunea reciprocă dintre două bobine vecine, parcurse de curenți electrici, între care iau naștere forțe electrodinamice.

Se consideră (fig. 11-4) o bobină fixă B_f și o bobină mobilă B_m care se poate roti în jurul axului O . Se presupune că cele două bobine sînt legate în serie din punct de vedere electric, fiind străbătute de curentul I . Bobina

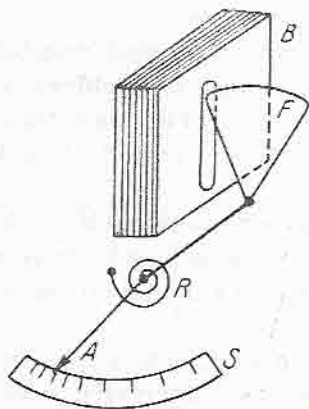


Fig. 11-3. Aparat feromagnetic.

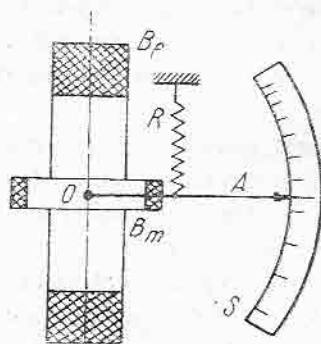


Fig. 11-4. Aparat electrodynamic.

mobila este solidară cu acul indicator A , ce se poate deplasa în fața scării gradate S ; acul indicator este menținut în poziția de zero prin resoartele antagoniste R . Deoarece, după cum se știe, forțele electrodinamice între curenții care trec prin bobine sînt proporționale cu produsul acestor curenți, deci cu I^2 , cuplul de rotație pe care bobina fixă îl exercită asupra bobinei mobile va fi de asemenea proporțional cu I^2 (ca în cazul aparatelor feromagnetice). Aceste aparate pot fi utilizate deci, fie în curent continuu, fie în curent alternativ, întrucît cuplul de rotație, fiind proporțional cu pătratul curentului, nu se modifică atunci cînd se schimbă sensul acestuia. Putîndu-se construi pentru o precizie de măsurare mai mare, aparatele electrodinamice se întrebuițuează de obicei în laborator ca ampermetre, voltmetre și wattmetre.

Aparate termice. Aceste aparate funcționează pe baza dilatării unui fir metalic datorită căldurii produsă de trecerea unui curent electric prin fir. După cum se poate urmări pe figura 11-5, între punctele a și b este întins un fir calibrat executat dintr-un aliaj de platină cu argint, platină cu iridiu sau nicrom (nichel cu crom). Între mijlocul c al firului ab și punctul fix d este prins un fir de bronz cd , care în punctul e este atras lateral prin intermediul firului de mătase eg , de către arcu R , constituit dintr-o lamă flexibilă.

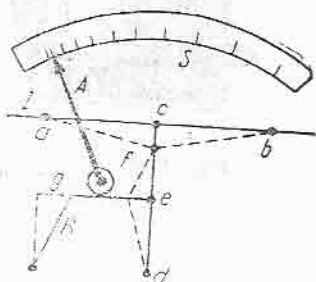


Fig. 11-5. Aparat termic.

Prin firul abc trece curentul I . Firul se încălzește, căldura degajată fiind proporțională cu I^2 , pe baza efectului Lenz-Joule. Din cauza încălzirii, firul abc se dilată, astfel încît arcu R poate trage spre stînga punctul e și în acest timp firul de mătase eg învîrtește roțița f , solidară cu acul indicator A , care se mișcă în fața scării gradate S cu un unghi proporțional cu I^2 .

Aparatele termice pot de asemenea funcționa, fie în curent continuu, fie în curent alternativ, dat fiind că această funcționare se bazează pe un fenomen care depinde de pătratul curentului (efectul Joule-Lenz). Au însă dezavantajul de a fi fragile și de a nu suporta suprasarcini; din această cauză se întrebuițuează în cazuri speciale (de exemplu la frecvențe mari). Pe acest principiu se construiesc ampermetrele și voltmetrele termice.

Aparate de inducție. Funcționarea lor se bazează pe acțiunea dintre cîmpurile magnetice alternative produse de una sau de mai multe bobine străbătute de curenți alternativi și curenți turbionari induși de aceste

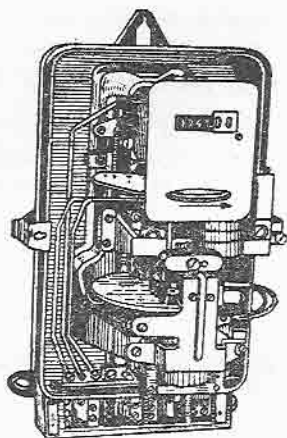


Fig. 11-6. Contor de inducție.

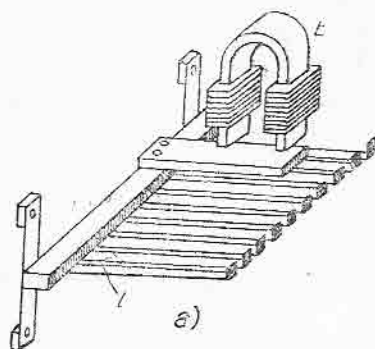


Fig. 11-7. Frecvențimetru de vibrație:
a — construcție ; b — aspectul scării
când frecvența măsurată este de
50,25 Hz.

cîmpuri într-o piesă mobilă în formă de cilindru sau de disc. Ca urmare, cilindrul sau discul se rotesc. Pe acest principiu se construiesc ampermetre, volmetre, wattmetre, contoare. Aceste aparate pot funcționa numai în curent alternativ.

În figura 11-6 este reprezentată construcția unui contor de inducție.

Aparate de vibrație. Se bazează pe rezonanța mecanică a unor lame vibrante (fig. 11-7, a). O serie de lame vibrante l cu frecvență de rezonanță diferită, sînt solicitate să vibreze, prin intermediul unui electromagnet E , cu dublul frecvenței curentului care trece prin bobina acestuia.

Lama a cărei frecvență proprie coincide cu frecvența solicitată va intra în rezonanță și va vibra mai puternic decît celelalte (fig. 11-7, b). Pe acest principiu se bazează construcția frecvențimetrelor de vibrație.

2. EROAREA APARATELOR. CLASA DE PRECIZIE.

În general indicația A_i a unui aparat diferă de valoarea reală A , a mărimii măsurate. Aparatul are o eroare de indicație:

$$\Delta A = A_i - A. \quad (11.2)$$

Raportul dintre eroarea de indicație într-un punct oarecare al scării și valoarea maximă (A_{max}) pe care o poate măsura aparatul (limita superioară de măsurare) se numește eroarea raportată a aparatului (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{max}}. \quad (11.3)$$

Din acest punct de vedere, aparatele electrice de măsurat se construiesc în cla-

sele de precizie 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 și 2,5, indicele de clasă exprimând, de obicei în procente, eroarea maximă raportată.

Aparatele de clasă 0,2 și 0,5 se folosesc ca aparate de laborator. Cele de clasă 0,5 și de clasă 1 se folosesc ca aparate de măsurat și control industriale, transportabile. Aparatele de clasă 1,5 și 2,5 și mai rar cele de clasă 1 se folosesc ca aparate de tablou și aparate înregistratoare pentru măsurările industriale de exploatare.

3. MARCAREA APARATELOR DE MĂSURAT

Pe cadranul fiecărui aparat sînt înscrise următoarele caracteristici principale, pentru a putea cunoaște aparatul și a-l utiliza în bune condiții :

a) Simbolul unității de măsură a mărimii pe care o măsoară aparatul, de exemplu : A, mA, kA, V, kV, W, MW etc.

b) Principiul de funcționare al aparatului folosind semnele convenționale din tabela 11-2.

c) Felul curentului cu care funcționează aparatul, folosind semnele convenționale din tabela 11-3.

d) Poziția normală de funcționare a aparatului, folosind semnele convenționale din tabela 11-4.

Tabela 11-2

Semne convenționale pentru indicarea principiului de funcționare a unui aparat de măsurat









Felul aparatului	Semnul convențional	Felul aparatului	Semnul convențional
Aparat magnetoelectric		Aparat de inducție	
Aparat electromagnetic		Aparat cu vibrație	
Aparat electrodinamic		Aparat cu redresor	
Aparat termic		Aparat de termocuplu	

Tabela 11-3

Semne convenționale pentru indicarea felului curentului pentru aparatele de măsurat






Felul curentului	Semnul convențional
Curent continuu	— sau =
Curent alternativ	
Curent continuu și alternativ	
Curent alternativ trifazat, sarcini echilibrate	
Curent alternativ trifazat, sarcini dezechilibrate . .	
Curent alternativ trifazat cu patru conductoare . .	

Tabela 11-4

Semne convenționale pentru indicarea poziției normale de funcționare a unui aparat de măsurat

Poziția normală de funcționare a aparatului	Semnul convențional
Verticală	↑ sau ⊥
Orizontală	→ sau —
Înclinată	< 60°

e) Clasa de precizie a aparatului.

f) Tensiunea de încercare a izolației aparatului, indicată în kV printr-un număr scris în interiorul unei steluțe sau alături de o săgeată.

g) Frecvența la care funcționează aparatul, dacă aceasta diferă de 50 Hz.

h) La aparatele de clasă 0,2 și 0,5 se înscriu pe cadran și rezistențele interioare ale aparatului.

Condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice de măsurat sînt indicate prin STAS 4640-71.

4. MĂSURAREA CURENTULUI

Curentul se măsoară cu ampermetrul. *Ampermetrul se leagă în serie cu receptorul*, prin care trece curentul de măsurat (fig. 11-8, a).

De aceea, pentru a nu modifica sensibil curentul din circuit, rezistența, respectiv în curent alternativ impedanța ampermetrului, trebuie să fie cît mai mică (de ex. 0,07 Ω pentru un ampermetru electromagnetice și 0,48 Ω pentru un ampermetru înregistrator).

Rezistența ampermetrului fiind mică și puterea consumată de el va fi mică (între 0,2 și 12 VA).

Dacă din greșeală se leagă un ampermetru direct la bornele circuitului (în paralel cu receptorul și nu în serie cu acesta — așa cum este corect) această echivalează cu o legătură în scurtcircuit; prin ampermetru va trece un curent foarte mare, astfel încît aparatul va suferi defecțiuni mecanice (ruperea acului), iar bobinajul lui se va încălzi peste limitele admise și se va arde.

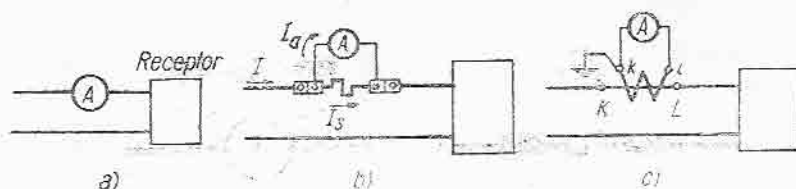


Fig. 11-8. Legarea în circuit a ampermetrului:
 a — direct; b — prin șunt; c — prin transformator de curent.

Aplicație. Un ampermetru electromagnetic de 5 A are o rezistență interioară $r = 0,07 \Omega$. Care este puterea absorbită la curentul de 5 A?

Ce curent trece prin aparat dacă din greșeală el va fi legat în paralel într-un circuit cu tensiunea $U = 220$ V?

Rezolvare. Puterea consumată la 5 A va fi:

$$P = r_a I_a^2 = 0,07 \cdot 5^2 = 1,75 \text{ W.}$$

Dacă din greșeală se leagă ampermetrul în paralel, prin el va trece un curent:

$$I_a = \frac{U}{r_a} = \frac{220}{0,07} = 3142 \text{ A,}$$

care va deteriora ampermetrul.

Extinderea limitei de măsurare. Curentul maxim pe care îl poate măsura direct un ampermetru este curentul notat pe cadranul lui (limita de măsurare). Practic, ampermetrele se construiesc de obicei pentru a măsura direct curenții pînă la 100 A. Pentru a folosi un ampermetru la măsurarea unui curent mai mare decît limita sa de măsurare, se folosesc șunturi în curent continuu (fig. 11-8, b) sau transformatoare de curent* în curent alternativ (fig. 11-8, c).

Șuntul are o rezistență care se leagă în serie cu circuitul în care se măsoară curentul, în locul ampermetrului, iar ampermetrul se leagă în derivație la bornele șuntului. Șuntul are patru borne; două borne (extreme) pentru conectarea șuntului în circuit și alte două borne pentru conectarea ampermetrului în șunt. În figura 11-9 se arată legarea greșită a unui ampermetru cu șunt.

Calculul șuntului. Se notează cu I curentul care trebuie măsurat și care este de $n = \frac{I}{I_a}$ ori mai mare decît limita de măsurare I_a a ampermetrului.

* Transformatoarele de curent sînt descrise la capitolul XIII.

Fie r_a rezistența ampermetrului și r_s rezistența șuntului. Ținând seama de notațiile de pe figura 11-8, *b* și aplicînd legile lui Kirchhoff se obțin ecuațiile :

$$I = I_a - I_s$$

$$r_a I_a = r_s I_s$$

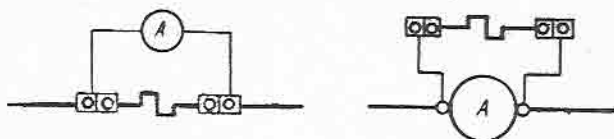


Fig. 11-9. Legarea greșită a unui ampermetru cu șunt.

din care, ținîndu-se seamă că $n = \frac{I}{I_a}$, rezultă :

$$r_s = \frac{r_a I_a}{I - I_a} = \frac{r_a}{n - 1}. \quad (11.3)$$

În figura 11-10 sînt reprezentate două șunturi.

Pe fiecare șunt se notează curentul maxim care poate fi măsurat și căderea de tensiune la bornele șuntului, corespunzătoare curentului maxim, cînd ampermetrul este legat în derivație, de exemplu 25 000 A și 75 mV. Pentru ampermetrele la care diviziunile de pe scară corespund funcționării cu șunt se indică și șuntul care trebuie folosit ; pe ampermetru se scrie : cu șunt nr...

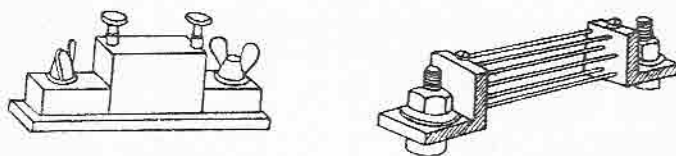


Fig. 11-10. Șunturi.

5. MĂSURAREA TENSIUNII

Tensiunea se măsoară cu voltmetrul. Voltmetrul se leagă în derivație (în paralel) cu porțiunea de circuit a cărei tensiune se măsoară (fig. 11-11, *a*). Astfel, pentru măsurarea tensiunii unui receptor, voltmetrul se leagă în

derivație la bornele receptorului ; pentru a măsura tensiunea unui generator, voltmetrul se leagă în derivație la bornele generatorului etc.

Pentru a nu provoca apariția unui curent suplimentar pe circuit și a nu modifica astfel tensiunea circuitului, rezistența interioară a voltmetrului trebuie să fie cât mai mare (de ordinul sutelor și miilor de ohmi, iar în unele cazuri, al sutelor de mii de ohmi).

Rezistența voltmetrului fiind mare, curentul prin el va fi mic și puterea absorbită va fi și ea mai mică (comparabilă cu aceea absorbită de un ampermetru).

Voltmetrul legat din greșală în serie cu receptorul nu este pus în pericol ; în schimb, mărindu-se mult rezistența întregului circuit, receptorul nu poate funcționa. Curentul care trece prin voltmetru este proporțional cu tensiunea măsurată. Conductoarele circuitului voltmetrului sînt calculate pentru curentul corespunzător tensiunii maxime, înscrise pe scara sa. Legînd voltmetrul la o tensiune superioară acestuia, prin el va trece un curent mai mare, care va produce, prin încălzire, deteriorarea voltmetrului.

Extinderea limitei de măsurare se face cu ajutorul rezistențelor adiționale (fig. 11-11, b) sau al transformatoarelor de tensiune, în curent alternativ* (fig. 11-11, c).

Rezistența adițională este o rezistență care se leagă în serie cu voltmetrul, pentru a mări rezistența circuitului voltmetrului, astfel încît, legînd aparatul la o tensiune superioară limitelor sale de măsurare, curentul prin aparat să nu atingă valoarea periculoasă, arătată mai sus.

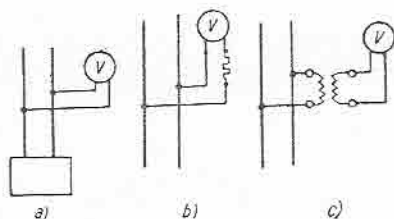


Fig. 11-11. Legarea în circuit a voltmetrului :

a — direct ; b — cu rezistență adițională ; c — cu transformator de tensiune.

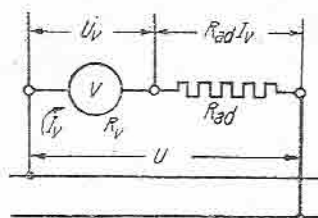


Fig. 11-12. Voltmetru cu rezistență adițională.

Calculul rezistenței adiționale. Se notează cu U tensiunea care trebuie măsurată și care este de $n = \frac{U}{U_c}$ ori mai mare decît limita de măsurare U_c a voltmetrului. Fie I_v curentul prin voltmetru corespunzător limitei de măsurare (deci curentul maxim admisibil), R_v rezistența interioară a voltmetrului și R_{ad} , valoarea rezistenței adiționale (fig. 11-12). Aplicînd legile lui Kirchhoff

* Transformatoarele de tensiune sînt descrise la capitolul XIII.

și ținând seama că la noua tensiune curentul prin voltmetru trebuie să rămână tot la valoarea I_v , se pot scrie ecuațiile :

$$U = U_v + R_{ad} I_v$$

$$U_v = R_v I_v$$

$$n = \frac{U}{U_v}$$

$$R_{ad} = \frac{U - U_v}{I_v} =$$

$$\left(U = n U_v \right) = \frac{U_v (n - 1)}{I_v} =$$

Din acest sistem de ecuații rezultă :

$$R_{ad} = R_v \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right) = R_v (n - 1). \quad (11.5)$$

Aplicația 11-2. Un voltmetru cu limita de măsurare 150 V are o rezistență internă $R_v = 4\,640 \, \Omega$. Să se calculeze valoarea rezistenței adiționale care trebuie legată în serie cu aparatul pentru ca limita de măsurare să devină 600 V.

Rezolvare. Conform relației (11.5) :

$$R_{ad} = 4\,640 \left(\frac{600}{150} - 1 \right) = 13\,920 \, \Omega.$$

Rezistența adițională trebuie să fie dimensionată, încît să suporte curentul :

$$I_v = \frac{U_v}{R_v} = \frac{150}{4\,640} = 0,0323 \, \text{A},$$

adică să poată consuma puterea :

$$P = R_{ad} \cdot I_v^2 = 13\,920 \cdot 0,0323^2 = 14,5 \, \text{W}.$$

În noul montaj, indicațiile voltmetrului de 150 V vor trebui înmulțite cu :

$$n = \frac{U}{U_v} = \frac{600}{150} = 4.$$

6. MĂSURAREA REZISTENȚELOR

Măsurarea rezistențelor se efectuează în curent continuu, în următoarele trei moduri :

- cu ampermetrul și voltmetrul ;
- cu aparate speciale numite ohmmetre, megohmmetre ;
- cu puntea Wheatstone.

Măsurarea rezistențelor cu ampermetrul și voltmetrul se bazează pe legea lui Ohm. Se pot realiza două montaje : montajul amonte (fig. 11-13, a) și montajul aval (fig. 11-13, b).

Notînd cu I_A și U_v indicațiile ampermetrului și respectiv ale voltmetrului, valoarea rezistenței măsurate R_x este dată de relația :

$$R_x = \frac{U_v}{I_A}. \quad (11.6)$$

Această valoare este însă afectată de eroare datorită curentului i care trece prin voltmetru la montajul aval și datorită căderii de tensiune $r_A I_A$ în ampermetru la montajul amonte. Pentru ca eroarea să fie cît mai mică, trebuie ca montajul aval să fie folosit cînd rezistența de măsurat este mică în raport cu rezistența interioară a ampermetrului.

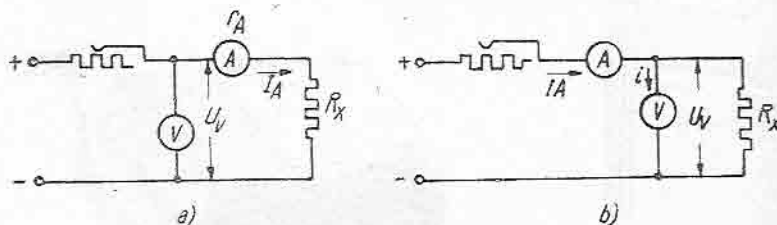


Fig. 11-13. Schema de montaj pentru măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului :

a — montaj amonte ; b — montaj aval.

Dacă se cunoaște rezistența interioară R_v a voltmetrului sau rezistența interioară r_A a ampermetrului, se poate elimina eroarea calculînd valoarea exactă R_x a rezistenței, cu relațiile :

$$\left. \begin{aligned} & \text{— pentru montajul amonte } R_x = \frac{U_v}{I_A} - r_A \\ & \text{— pentru montajul aval } R_x = \frac{U_v}{I_A - \frac{U_v}{R_v}} \end{aligned} \right\} \quad (11.7)$$

Observație: Dacă măsurările de mai sus se fac în curent alternativ, în locul rezistenței se obține valoarea impedanței pentru frecvența respectivă.

Măsurarea rezistențelor cu ohmmetrul. Schema de principiu a unui ohmmetru (fig. 11-14) conține următoarele elemente esențiale :

— o sursă de energie electrică E , care poate fi o baterie de 1,8—4,5 V (ohmmetru cu baterie fig. 11-15, a) sau un magnetou rotit cu manivelă care produce o tensiune de 250 V, 500 V sau 1 000 V (ohmmetru cu magnetou sau cu inductor fig. 11-15, b) ;

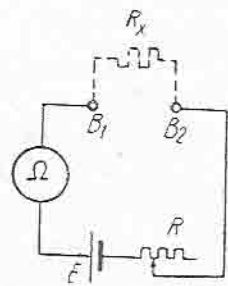
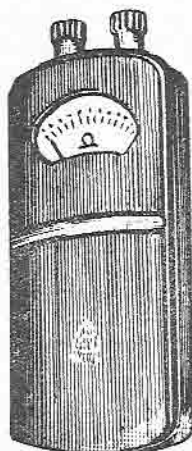
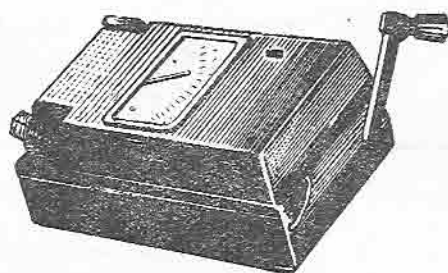


Fig. 11-14. Ohmmetru (schemă de principiu).

- un miliampermetru Ω gradat direct în ohmi;
- o rezistență de protecție R , pentru a compensa scăderea în timp a forței electromotoare (legind bornele B_1 și B_2 în scurtcircuit, se variază R pînă cînd acul indicator ajunge la reperul zero);
- bornele B_1 și B_2 la care se leagă rezistența R_x de măsurat.



a)

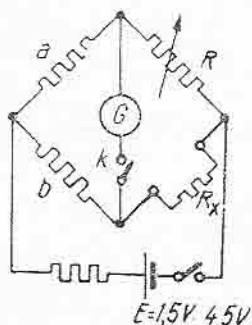


b)

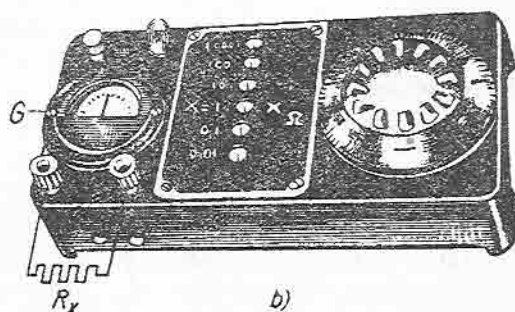
Fig. 11-15. Ohmmetre:
a — cu baterie ; b — cu inductor.

Cu ohmmetrele se măsoară în general rezistențele mari, cum sînt rezistențele de izolație ale utilajelor și instalațiilor electrice.

Măsurarea rezistențelor cu puntea Wheatstone. Schema punții este reprezentată în figura 11-16, a.



a)



b)

Fig. 11-16. Puntea Wheatstone:
a — schema punții ; b — punte industrială.

Pentru un raport al rezistențelor $\frac{a}{b}$, care poate fi făcut 0,01 ; 0,1 ; 1 ; 10 ; 100 sau 1 000, se variază rezistența reglabilă R pînă cînd curentul care trece prin galvanometrul G este zero. În această situație, aplicînd legile lui Kirchhoff, se demonstrează că între rezistențele punții există relația :

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{R_x}$$

de unde se deduce valoare rezistenței de măsurat :

$$R_x = \frac{b}{a} R. \quad (11.8)$$

Cu ajutorul punții industriale reprezentată în figura 11-16, b se pot măsura rezistențele cuprinse între 0,05 Ω și 50 000 Ω .

În practica industrială se folosesc și punți special construite pentru măsurarea rezistențelor de izolație și punți pentru măsurarea rezistențelor prizelor de legare la pămînt.

7. MĂSURAREA PUTERII

Măsurarea puterii în curent continuu se efectuează cu ajutorul ampermetrului și voltmetrului montate ca în figura 11-13. Puterea absorbită de receptorul R_x este :

$$P = U_v I_A.$$

Puterea P se obține în wați, dacă U_v se ia în volți și I_A în amperi.

Ca și în cazul măsurării rezistențelor, puterea astfel determinată este cronată din cauza consumului propriu al aparatelor. Cunoscînd rezistențele interioare ale aparatelor, se poate calcula puterea absorbită efectiv de receptor, folosind relațiile :

$$— \text{ pentru montajul amonte : } P' = U_v I_A - r_A I_A^2 ;$$

$$— \text{ pentru montajul aval : } P' = U_v I_A - \frac{U_v^2}{R}. \quad (11.9)$$

Măsurarea puterii în curent continuu se mai poate efectua cu ajutorul wattmetrului electrodinamic (fig. 11-17, a). Bobina fixă a aparatului (bobina de curent) se leagă în serie pe circuit, ca un ampermetru. Bobina mobilă (bobina de tensiune) se leagă în paralel cu receptorul, ca un voltmetru ; ea va fi străbătută de un curent proporțional cu tensiunea. Conform relației (4.7), cuplul care se naște și acționează asupra bobinei mobile, și deci, indi-

$$F = k I_1 I_2$$

cația aparatului sînt proporționale cu produsul dintre cei doi curenți, adică cu produsul $P=UI$, care reprezintă puterea ce trece prin circuit. În curent continuu, wattmetrul se utilizează însă mai rar.

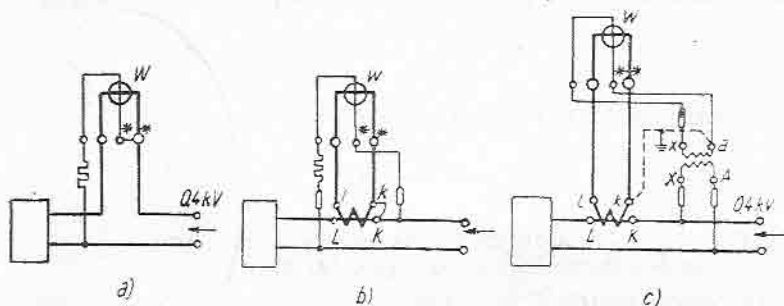


Fig. 11-17. Măsurarea puterii cu wattmetrul într-un circuit de curent alternativ monofazat:

a — montaj direct (utilizat și în curent continuu); b — montaj semi-direct; c — montaj indirect.

Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat se efectuează cu ajutorul wattmetrului (fig. 11-17, a, b și c), ale cărui deviații sînt proporționale cu produsul

$$P=UI \cos \varphi.$$

În consecință, wattmetrul măsoară puterea activă absorbită de receptor.

Folosirea ampermetrului și voltmetrului în curent alternativ, ca în figura 11-13, duce la determinarea puterii aparente.

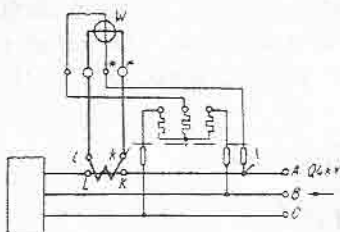


Fig. 11-18. Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat cu sarcini echilibrate.

Măsurarea puterii active în curent alternativ trifazat se efectuează tot cu ajutorul wattmetrelor și anume:

— pe un circuit trifazat cu sarcini echilibrate (sistem simetric) se folosește un wattmetru monofazat, montat ca în figura 11-18; indicațiile wattmetrului se înmulțesc cu trei, sau se gradează scara sa astfel, încît să indice direct puterea în curent trifazat;

— pe un circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate se folosesc fie două wattmetre, metodă denumită a celor „două wattmetre“ (fig. 11-19, *a* și *b*) fie un singur wattmetru cu două dispozitive de măsurat (fig. 11-20).

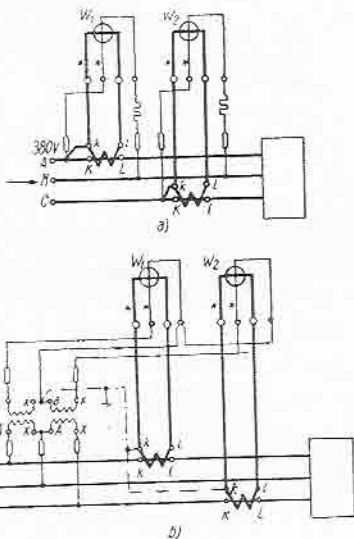


Fig. 11-19. Măsurarea puterii cu ajutorul a două wattmetre — circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate:
a — montaj semiindirect; *b* — montaj indirect.

În cazul folosirii a două wattmetre, puterea este dată de suma indicațiilor celor două wattmetre;

— pe un circuit trifazat cu fir neutru, cu sarcini dezechilibrate, se folosesc trei wattmetre sau un wattmetru cu trei dispozitive de măsurat (fig. 11-21).

Măsurarea puterii reactive se face cu ajutorul aparatelor speciale, numite varmetre sau cu ajutorul wattmetrelor obișnuite montate după scheme speciale. Figura 11-22 reprezintă folosirea a două wattmetre pentru măsurarea puterii reactive într-un circuit fără fir neutru. Puterea reactivă Q este dată de suma $P_1 + P_2$ a indicațiilor celor două wattmetre înmulțită cu $\sqrt{3}$:

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2).$$

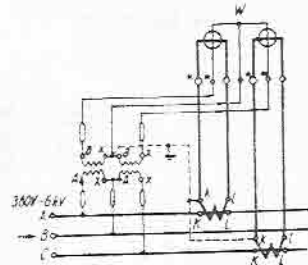


Fig. 11-20. Măsurarea puterii cu ajutorul unui wattmetru trifazat cu două dispozitive de măsurat montaj indirect) — rețea fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate.

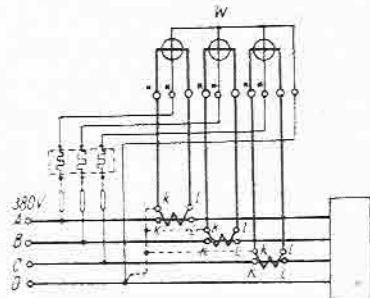


Fig. 11-21. Măsurarea puterii într-un circuit trifazat cu fir neutru, având sarcini dezechilibrate.

Observație importantă. La folosirea wattmetrelor trebuie respectate cu strictețe următoarele indicații: a) începuturile bobinei de curent și de tensiune (marcate cu o steluță sau cu o săgeată) trebuie legate spre sursă; b) trebuie respectată marcarea bornelor transformatoarelor de măsurat conform schemelor de montaj. Dacă nu se respectă aceste norme, wattmetrul indică în sens invers sau eronat.

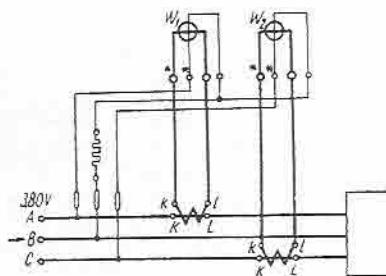


Fig. 11-22. Măsurarea puterii reactive într-un circuit trifazat fără fir neutru, cu ajutorul a două wattmetre.

De asemenea, nu trebuie să se depășească curentul maxim admisibil al bobinei de curent (marcat pe cadranul aparatului) și tensiunea bobinei mobile (marcată de asemenea pe cadran). Aceste valori ar putea fi uneori depășite fără ca indicația aparatului să depășească limita de măsurare. Când sînt posibile asemenea cazuri, este necesar să se monteze în circuit un ampermetru și un voltmetru de control.

8. MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE

Măsurarea energiei electrice active se efectuează cu ajutorul contoarelor. Un contor conține unul sau mai multe dispozitive wattmetrice de măsurat care pun în mișcare de rotație un rotor. Viteza de rotație a rotorului este proporțională cu puterea care trece prin circuit, iar numărul total de rotații este proporțional cu energia electrică corespunzătoare. Numărul de rotații ale rotorului sînt totalizate de un mecanism cu roți dințate, care indică direct energia în kilowattore.

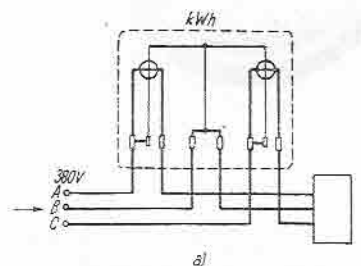
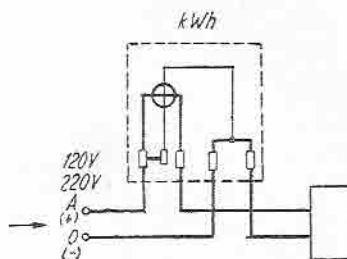
În curent continuu se utilizează contoare electrodinamice, la care rotorul este format chiar din bobina de tensiune a dispozitivului wattmetric.

În curent alternativ se utilizează contoare de inducție, la care rotorul este format dintr-un disc de aluminiu pus în mișcare prin acțiunea cîmpurilor alternative produse de bobinajul de curent și de cel de tensiune.

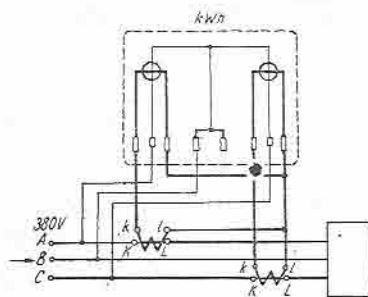
Contoarele se montează în mod asemănător cu wattmetrele, așa cum rezultă din figurile 11-23, 11-24, 11-25.

Măsurarea energiei reactive se efectuează cu ajutorul contoarelor de energie reactivă, de construcție specială.

Fig. 11-23. Conectarea unui contor (de energie activă) de curent continuu sau de curent alternativ monofazat.



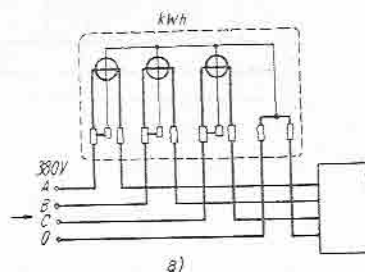
a)



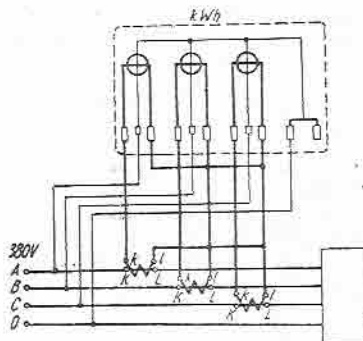
b)

Fig. 11-24. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu două dispozitive de măsurat — circuit trifazat fără fir neutru:

a — montaj direct; b — montaj semidirect.



a)



b)

Fig. 11-25. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu trei dispozitive de măsurat — circuit trifazat cu fir neutru:

a — montaj direct; b — montaj semidirect.

9. MĂSURAREA FACTORULUI DE PUTERE ($\cos \varphi$)

Factorul de putere se poate măsura direct cu ajutorul aparatelor numite cosfimele sau fazmetre (cînd aparatul indică direct unghiul de defazaj φ și nu $\cos \varphi$) (fig. 11-26).

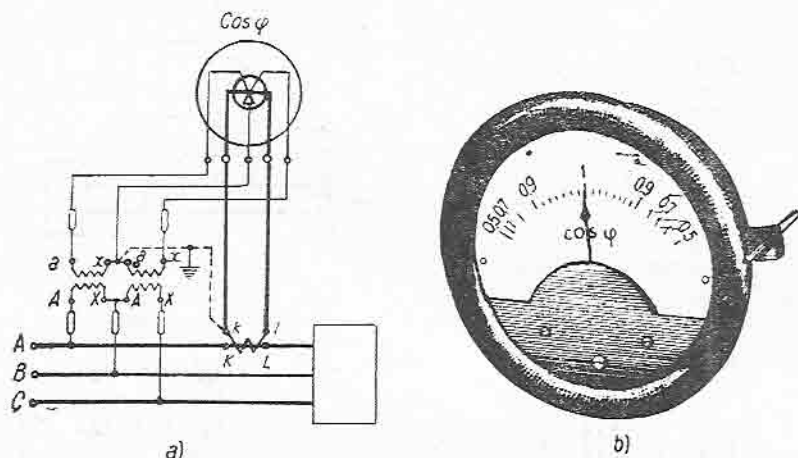


Fig. 11-26. Cosfimetru de tablou:
a — schemă de conexiuni; b — vederea aparatului.

Factorul de putere se mai poate determina măsurînd simultan tensiunea U cu un voltmetru, curentul I cu un ampermetru și puterea activă P cu un wattmetru. Expresia factorului de putere este:

$$\left. \begin{aligned} &\text{— în curent monofazat } \cos \varphi = \frac{P}{UI} \\ &\text{— în curent trifazat } \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI} \end{aligned} \right\} \quad (11.10)$$

În curent trifazat, metoda este aplicabilă dacă sarcina este echilibrată. Tot în acest caz, dacă se măsoară puterea prin metoda celor două wattmetre, se obține ușor tangenta unghiului

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}, \quad (11.11)$$

din care se calculează apoi $\cos \varphi^*$.

* Factorul de putere mediu al unei întreprinderi se calculează cu ajutorul indicațiilor unui contor de energie activă și a unui contor de energie reactivă, așa cum se va arăta la cap. 20, paragraf 5.

10. MĂSURAREA FRECVENȚEI

Măsurarea frecvenței se efectuează cu aparate numite frecvențmetre. Frecvențmetrele se pot construi ca aparate cu ac indicator sau, cum sint întâlnite în mod curent, ca aparate de vibrație (fig. 11-7). În figura 11-27 este reprezentată schema de conexiune și aspectul exterior al unui frecvențmetru de tablou. Frecvențmetrul se leagă în circuit ca un voltmetru.

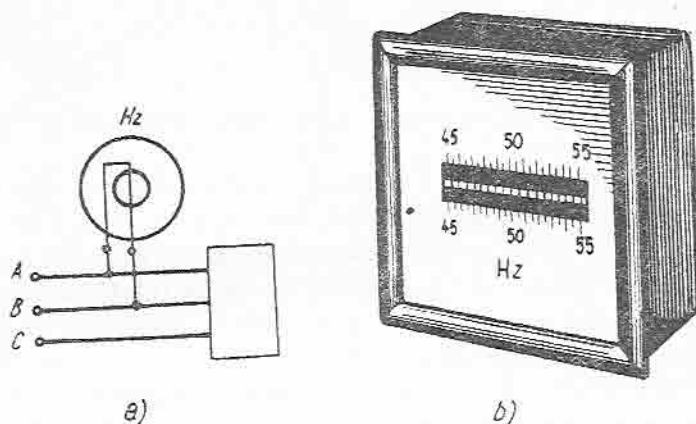


Fig. 11-27. Frecvențmetru de vibrație de tablou cu scară simplă :
a — schemă de conexiuni ; b — vederea aparatului.

1. REGULI PRACTICE PENTRU FOLOSIREA
APARATELOR DE MĂSURAT

1. Legarea bornelor aparatelor de măsurat în circuit nu se face niciodată când acesta este sub tensiune.

2. Montajul se execută numai după o schemă clară de conexiuni, pe care sint marcate bornele aparatelor, cu notațiile existente pe aparate. De multe ori, schema de conectare a aparatului se găsește imprimată chiar pe aparat (pe cadran, pe capac, pe carcasă). Se identifică aparatele de pe schemă cu cele disponibile și după marcările de pe cadranul aparatelor se verifică dacă ele corespund scopului propus.

3. Înainte de a pune montajul de măsurare sub tensiune, se verifică conexiunile conform schemei și se observă ca legăturile la borne să nu fie slăbite sau desfăcute. Cu ajutorul corectorului se așază acele indicatoare pe reperul zero.

4. Aparatele se aleg, de preferință, astfel, încît indicațiile să fie cuprinse în ultima treime a scării gradate. Indicațiile aparatelor se citesc privind aparatul drept în față. Pentru a permite o citire precisă, unele aparate (cele transportabile) sînt prevăzute cu o scară cu oglindă. Citirea indicației acestora se efectuează în poziția în care acul acoperă imaginea sa din oglindă.

5. Cînd aparatele sînt montate prin transformatoare de măsurat, indicațiile aparatelor se interpretează ținîndu-se seamă de raportul de transformare al transformatoarelor de măsurat (aceasta numai în cazul cînd la înscrierea diviziunilor pe scara aparatului nu s-a ținut seamă de raportul de transformare al transformatoarelor).

12. MĂSURAREA ELECTRICĂ A MĂRIMILOR NEELECTRICE

Problema măsurărilor are o deosebită importanță nu numai în electrotehnică, dar și în alte domenii. Astfel, este de neconceput exploatarea în bune condiții a unei stații de compresoare fără a măsura presiunea și temperatura în diferite puncte ale instalației, viteza de rotație a mașinilor etc. Mai mult, astăzi, prin automatizarea proceselor de producție, se impune un control permanent și precis al diferiților parametri (viteze, presiuni, temperaturi, debite, nivele etc.) Adesea rezultatele măsurărilor trebuie transmise la distanță și centralizate în anumite puncte de control. Toate acestea se pot realiza în condiții tehnico-economice corespunzătoare numai pe calea măsurării electrice a acestor mărimi neelectrice. Instalația de măsurat trebuie să cuprindă:

1. Un aparat care să transforme mărimea neelectrică într-o mărime electrică, denumit traductor.

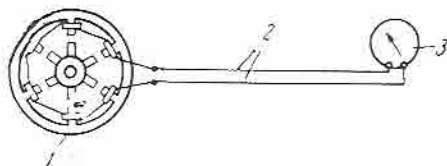


Fig. 11-28. Măsurarea pe cale electrică a turației:
1 — traductor; 2 — instalație de legătură (schemă);
3 — receptor.

2. O instalație electrică destinată a lega traductorul de aparatul electric de măsurat propriu-zis, care de multe ori se reduce la simple conductoare de legătură.

3. Aparatul electric de măsurat propriu-zis (receptor), a cărui scară este gradată direct în unități ale mărimii neelectrice măsurate.

4. Uneori toată instalația necesită și o sursă auxiliară de energie electrică.

În figura 11-28 se arată, pentru exemplificare, măsurarea pe cale electrică a turației unei mașini. Pentru aceasta, la axul mașinii se cuplează traductorul 1 format dintr-un generator electric de curent continuu sau alternativ al cărui rotor se rotește solidar cu axul mașinii. Acest generator, denumit și generator tahometric sau tahogenerator, produce o tensiune electrică proporțională cu turația mașinii. Receptorul 2 (un voltmetru) măsoară tensiunea produsă de generatorul tahometric; pe scara acestui voltmetru se poate citi direct turația mașinii.

CAPITOLUL XII

APARATAJ ELECTRIC

1. GENERALITĂȚI, CLASIFICARE, DEFINIȚII

Pentru a putea asigura buna funcționare a unei instalații electrice, este necesar ca, pe lângă aparatele de măsurat, instalația să fie înzestrată și cu o serie de alte aparate, cum sînt întreruptoarele, reostatele, siguranțele fuzibile etc., cu ajutorul cărora se pot face în instalații diferite manevre și se protejează instalația împotriva diferitelor deranjamente.

Ținînd seama de scopul lor în funcționare, aparatele din această ultimă categorie, care vor forma obiectul acestui capitol, pot fi clasificate în: aparate de conectare, aparate de protecție, aparate de reglaj și aparate pentru limitarea curenților de scurtcircuit.

Aparatele de conectare servesc la închiderea și deschiderea diferitelor circuite, sau cum se mai spune, la conectarea, respectiv deconectarea circuitelor și instalațiilor electrice, cu scopul de a le pune sau scoate de sub tensiune, de a porni și opri motoarele, de a le inversa sensul de rotație etc. Aparatele de conectare sînt: întreruptoarele, separatoarele, contactoarele, ruptoarele, comutatoarele, prizele de curent cu fișe și conectoarele.

Aparatele de protecție servesc la sesizarea unei situații anormale în funcționarea unei instalații, de exemplu,: apariția unei suprasarcini*, un scurtcircuit, o scădere neadmisă a tensiunii, o încălzire exagerată a vreunei piese etc. Ca urmare a acestor sesizări, aparatele de protecție fie dau o comandă pentru deconectarea automată a instalației, dacă situația anormală este imediat periculoasă (cum ar fi în cazul unui scurtcircuit), fie semnalizează apariția situației anormale atunci cînd situația respectivă nu prezintă un pericol imediat (cum ar fi depășirea temperaturii normale de funcționare a unei părți din instalație).

Aparatele de protecție sînt: siguranțele fuzibile, releele, descărcătoarele.

Aparatele de reglaj cuprind reostatele. Reostatul este un aparat care conține o rezistență reglabilă. Reostatele sînt folosite la pornirea și reglajul

* Prin suprasarcină se înțelege o creștere a curentului printr-o instalație, peste curentul nominal al acestei instalații (vezi cap. XXI § 1).

vitezei motoarelor, la reglajul tensiunii generatoarelor sau la reglajul altor parametri electrici ai unei instalații.

Aparatele pentru limitarea curenților de scurtcircuit. În această grupă de aparate intră *reactorul*. Reactorul este un aparat care se montează într-un circuit pentru a-i mări în mod artificial impedanța, în scopul de a reduce astfel valoarea curenților de scurtcircuit, care — de cele mai multe ori — apar din cauza unor defecte de izolație.

După cum se vede, aparatajul electric are o importanță deosebită în cadrul unei instalații industriale, deoarece, cu ajutorul lui, instalația poate fi comandată, reglată în funcționare normală și protejată la apariția unei situații anormale de funcționare.

Astăzi, prin întreprinderile Electroaparataj—București și Electroputere—Craiova, construite în anii puterii populare, se asigură construirea aparatajului de utilizare curentă atât pentru necesitățile interne cât și pentru cele de export.

Aparatele electrice mai pot fi clasificate și după alte criterii, și anume :

— după tensiune, aparatele sînt : de joasă tensiune (pînă la 1 000 V exclusiv) și de înaltă tensiune (peste 1 000 V inclusiv) ;

— după numărul de faze parcurse de curentul principal : monofazate, bifazate, trifazate etc. La unele aparate, ca, de exemplu, la aparatele de conectare, fazele sînt denumite și poli ;

— după felul curentului : de curent continuu sau de curent alternativ.

Aparatele de conectare și cele de reglaj mai pot fi clasificate și după modul de comandă (de acționare), și anume :

— aparate cu comandă manuală sau aparate neautomate, la care energia necesară acționării aparatului este dată de mușchii omului în momentul comandării (acționării) lui ;

— aparate cu comandă automată, la care acționarea aparatului se face prin apăsarea unor butoane, manevrarea unor manete, intervenția unor relee sau a altor elemente de comandă cu ajutorul energiei de o sursă de energie (electrică, mecanică, pneumatică). Conform acestei definiții, prin *întrerupător automat* se înțelege un întrerupător care poate fi închis și deschis prin apăsarea pe butoane sau prin comanda unor relee. În vorbirea curentă, prin *întrerupător automat* se înțelege și întrerupătorul care se poate numai **deschide** automat sub comanda unor relee pe care el le conține, închiderea lui făcîndu-se manual.

În funcție de modul de protecție cerut de condițiile locului de utilizare, aparatele pot fi închise într-o carcasă care asigură, după caz, protecția contra atingerilor cu mîna, contra pătrunderii corpurilor străine a stropilor de apă, a apei, a prafului etc., după cum se indică în STAS 5625-71. În cazul utilizării aparatelor în locuri cu pericol de explozie, ele se execută în construcție protejată contra exploziilor.

2. CONTACTE ELECTRICE

Legătura electrică de *contact* sau, pe scurt, *contactul electric* este partea componentă dintr-un aparat (întrerupător, releu, reostat etc.) prin care se face legătura electrică între două conductoare, cu scopul de a asigura tre-

cerea curentului de la unul la celălalt. De multe ori prin contact se înțelege numai locul de atingere dintre cele două conductoare sau chiar fiecare din cele două conductoare în parte.

Contactele pot fi *fixe* și *mobile*.

Contactele fixe se realizează cu ajutorul șuruburilor, clemelor, bornelor, fie prin nituire, lipire sau sudare; în acest caz, cele două piese care vin în contact păstrează o poziție fixă una față de cealaltă.

Contactele mobile pot fi *contacte alunecătoare* sau *contacte care se deschid*.

În primul caz, cele două piese care vin în contact, fără a se desface în funcționare, pot aluneca sau se pot rostogoli una față de alta, permițând astfel deplasarea uneia față de cealaltă; acesta este cazul contactelor prin rolă, prin perii, prin troleu etc., care se întâlnesc în practică la alimentarea podurilor rulante, la troleibuze, la tramvaie, la mașinile electrice etc.

Contactele care se deschid în funcționare au drept scop să asigure închiderea și deschiderea unor circuite. Dacă circuitul respectiv este străbătut de curent, deschiderea contactelor este însoțită de regulă de apariția unui arc electric între contactele care întrerup circuitul. Arcul electric are o temperatură foarte ridicată (3—4 mii de grade) și impune condiții speciale acestor contacte. De multe ori (la tensiuni și curenți mari), pentru a putea stinge arc electric, contactele trebuie prevăzute cu dispozitive speciale care să ușureze stingerea arcului.

O suprafață, oricât de bine ar fi prelucrată, are o serie de neregularități (proeminențe și adâncituri care se văd la microscop). Punând în contact două piese, ele nu se ating decât prin vîrfurile diferitelor proeminențe (fig. 12-1). Dacă un curent electric trece printr-un asemenea contact, curentul trece de fapt numai prin vîrfurile proeminențelor în contact. Aceste vîrfuri în contact au o suprafață mică, de aceea — la orice contact — apare o rezistență electrică suplimentară, denumită „rezistență de trecere a contactului”. Dacă cele două piese care vin în contact se apasă una asupra celeilalte, proeminențele se turtesc, mărind secțiunea prin care trece curentul. De aceea, cu cît forța de apăsare a contactelor este mai mare, cu atît rezistența de trecere este mai mică.

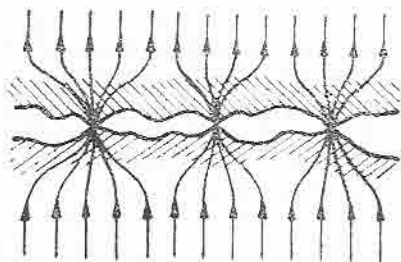


Fig. 12-1. Trecerea curentului prin contactul dintre două piese metalice.

Oxidarea suprafețelor de contact provoacă mărirea rezistenței de trecere. De aceea, argintarea, cositorirea sau zincarea contactelor sînt operații care îmbunătățesc funcționarea contactelor. Din acest punct de vedere, este de remarcat faptul că stratul de oxid care se formează la suprafața cuprului se rupe ușor la apăsarea contactelor. În schimb, la aluminiu se formează o peliculă de oxid foarte rezistentă. Acest lucru explică de ce aluminiul nu se folosește la contacte mobile. Trecerea curentului prin rezistența de trecere a contactului provoacă, prin efectul termic al curentului, încălzirea locului de con-

tact. Curentul maxim admis printr-un contact nu trebuie să încălzească contactul mai mult de 70—80°C. Dacă se depășește curentul maxim admis de contact, sau nu se controlează ca forța de apăsare a contactelor (dată de niște resoarte) să fie la valoarea prescrisă, contactul se încălzește peste limitele admise; în felul acesta se poate ajunge până la topirea și sudarea contactelor, ceea ce reprezintă un pericol foarte grav în cazul aparaturilor de conectare; de exemplu dacă — în caz de suprasarcină — un întrerupător montat pe circuitul unui motor nu se deschide la comanda releelor de protecție din cauză că i s-au sudat contactele, motorul respectiv va fi distrus (ars).

3. APARATE DE PROTECȚIE. RELEE

Aparatele de protecție care vor fi descrise în cele ce urmează sînt: siguranțele fuzibile și releele de protecție; pe lîngă acestea vor fi arătate și o serie de relee electrice și neelectrice folosite la instalațiile de automatizare*.

a. Siguranțe fuzibile

Siguranța fuzibilă este un aparat care, fiind montat în serie pe un circuit, întrerupe circuitul prin topirea unui fir sau lamele, denumit fir fuzibil sau lamelă fuzibilă, atunci cînd curentul din circuit depășește o anumită valoare, pentru care a fost construit fuzibilul.

Pentru ca fuzibilul să se topească (să se ardă), este necesar ca el să fie străbătut de un curent mai mare sau cel puțin egal cu *curentul minim de topire* ($I_{\min. \text{ top.}}$) la care, teoretic, fuzibilul se topește după un timp infinit. Cu cît curentul care trece prin fuzibil este mai mare decît curentul minim de topire cu atît durată de topire a fuzibilului este mai mică. Curba duratei de topire (t_t) în funcție de curentul (I_t), care provoacă topirea lui, se numește *caracteristica de protecție a fuzibilului* și are forma reprezentată în figura 12-2.

Cel mai mare curent care poate trece prin fuzibil timp nelimitat, fără ca acesta să se topească sau să-și schimbe caracteristica, se numește *curent nominal al fuzibilului* și se notează cu I_{nf} . Acest curent este cu 20—30% mai mic decît curentul minim de topire (fig. 12-2). Pentru curenți de 8—10 I_{nf} , fuzibilul se topește practic instantaneu.

Avînd în vedere faptul că o siguranță fuzibilă se topește numai la curenți mai mari cu 20—30% decît curentul ei nominal I_{nf} , trebuie dată o atenție cu totul deosebită alegerii corecte a fuzibilelor. Alegerea unui fuzibil cu un curent nominal mai mare decît cel reieșit din calcule sau recomandat în tabele face ca el să nu se topească la suprasarcini mici sau să se topească cu întîrziere la scurtcircuit.

* Releul de gaze și descărcătoarele vor fi descrise în capitolul de protecție a instalațiilor electrice (Cap. XXI).

Fuzibilul unei siguranțe poate fi montat în aer liber sau închis într-o piesă de forma unui tub denumit *patron*, pe care este marcat curentul nominal al fuzibilului. Pentru a ușura stingerea arcului care apare în urma topirii fuzibilului, patronul conține uneori nisip, talc sau alte substanțe așezate în jurul fuzibilului. La unele patroane, topirea fuzibilului este semnalizată

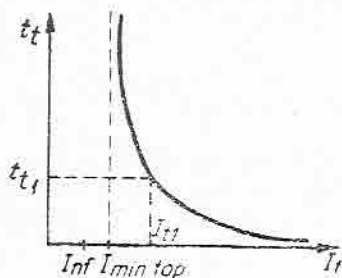


Fig. 12-2. Caracteristica de protecție a unei siguranțe fuzibile.

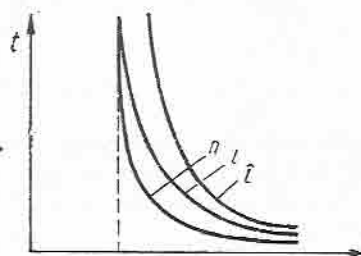


Fig. 12-3. Caracteristicile de protecție ale diferitelor tipuri de siguranțe fuzibile, având același curent nominal :

n — siguranțe normale ; i — siguranțe cu inerție ; t — siguranțe cu întârziere.

cu ajutorul unui dispozitiv. În cazul siguranțelor cu filet (vezi mai jos), în capul patroanelor se găsește un mic disc colorat care cade la topirea fuzibilului.

Clasificarea siguranțelor. În funcție de caracteristica de protecție, siguranțele pot fi de următoarele trei tipuri (fig. 12-3) :

— *Siguranțe normale sau rapide* (curba n) ; la aceste siguranțe, timpul de topire este mult mai mic decât la alte tipuri.

— *Siguranțe cu inerție* (curba i) ; la aceste fuzibile, la același curent, durata de topire este mai mare decât la o siguranță normală corespunzătoare (cu același curent nominal).

— *Siguranțe cu întârziere* (curba t) ; la aceste fuzibile, durata de topire este mărită chiar în comparație cu aceea a fuzibilului cu inerție și — în același timp — au o valoare mai mare a curentului minim de topire în raport cu curentul nominal al fuzibilului.

Pentru exemplificare, se arată în tabela 12-1 (după STAS 4173-67) condițiile de topire impuse siguranțelor cu minier (vezi mai jos).

Tabela 12-1

Condițiile de topire pentru siguranțele unipolare cu minier

Condițiile de topire	Tipul siguranței		
	normal (rapidă)	cu inerție	cu întârziere
Nu se topește într-o oră la sarcina de	$1,3 I_{nf}$	$1,6 I_{nf}$	$3 I_{nf}$
Se topește în mai puțin de o oră la sarcina de	$1,6 I_{nf}$	$1,9 I_{nf}$	$3,5 I_{nf}$

Din punct de vedere constructiv, siguranțele pot fi : siguranțe cu filet, siguranțe cu miner și siguranțe tubulare.

— Siguranțele cu filet (fig. 12-4) au fuzibilul închis într-un patron care se montează în soclul siguranței prin înșurubarea unui capac filetat, în care se introduce patronul. Aceste siguranțe pot fi :

Siguranțe LS (cu legături în spate); la aceste siguranțe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în spatele tabloului pe care se montează siguranțele.

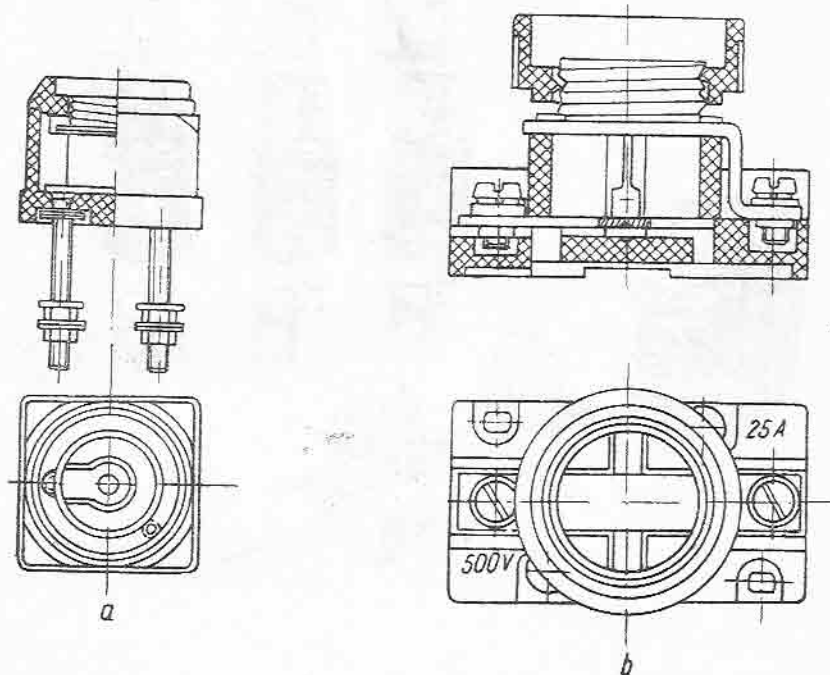


Fig. 12-4. Siguranțe cu filet :

a — soclu pentru legături în spatele tabloului ; b — soclu pentru legături în fața tabloului.

Siguranțe LF (cu legături în față) ; la aceste siguranțe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în fața tabloului.

Curenții nominali ai fuzibilului pot fi : 6 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 35 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 A.

Pentru a evita schimbarea greșită a patroanelor (înlocuirea unui patron cu fuzibil ars, printr-un alt patron, cu curent nominal mai mare), șurubul de contact din fundul soclului siguranței este protejat de un guler de porțelan care nu permite introducerea unui patron cu un fuzibil mai mare, decât dacă se înlocuiește șurubul de contact cu un altul prevăzut cu un guler corespunzător patronului noului fuzibil.

— Siguranțele cu miner au fuzibilul sub forma unei lamele, fixate într-o piesă specială în formă de miner, prevăzută cu piulițe de strângere și cuțite

de contact. Cuțitele de contact pătrund în contacte montate pe tablou și la care se leagă, prin spatele tabloului, conductoarele circuitului.

— Siguranțele de joasă tensiune cu mare putere de rupere sînt siguranțe fuzibile de construcție specială, care pot întrerupe curenți de ordinul zecilor de kiloamperi. Se construiesc pentru curenți nominali de 100—630 A și se folosesc în special în rețelele de distribuție urbană și în instalațiile industriale.

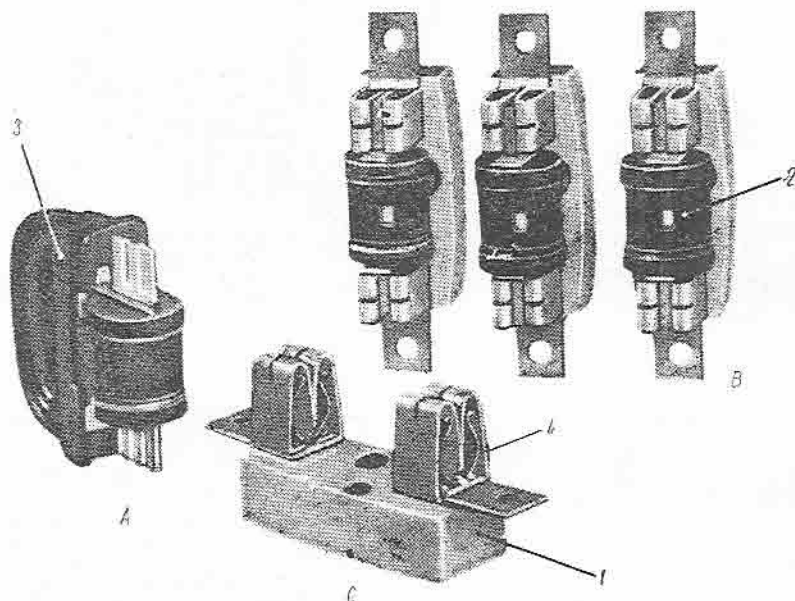


Fig. 12-5. Siguranță fuzibilă de joasă tensiune cu mare putere de rupere:
1 — soclu ceramic; 2 — patron fuzibil; 3 — mâner izolant; 4 — furci de contact.

— Siguranțe tubulare alcătuite dintr-un tub izolat, de obicei din porțelan, în care este așezat fuzibilul; tubul este prevăzut la capete cu cuțite sau piese de contact și se introduce cu capetele în două contacte așezate pe tablou, la joasă tensiune, sau pe două izolatoare, la înaltă tensiune (fig. 12-6).

Atît în cuprinsul aparatelor, cit și pe tablouri se utilizează în ultima vreme siguranțe formate dintr-un patron închis, terminat la capete cu cîte un contact tip cuțit. Patronul se poate scoate ușor, cu ajutorul unui mâner detașabil care stă fixat la îndemînă (de exemplu, sub capacul aparatului).

Siguranțele de înaltă tensiune, prevăzute cu mijloace de stingere a arcului electric, pot întrerupe curenți foarte mari (curenții de scurtcircuit), chiar în prima semiperioadă de la apariția curentului și chiar înainte ca acesta să atingă valoarea sa maximă. În felul acesta, siguranța limitează valoarea curentului de scurtcircuit, care poate apare în circuit, ceea ce permite o dimensionare mai economică a instalațiilor; aceste siguranțe se numesc *siguranțe limitatoare de curent*.

Alegerea siguranțelor*. Alegerea siguranțelor constă în a stabili valoarea curentului nominal al fuzibilului, în funcție de caracteristicile circuitului pe care vor fi montate aceste siguranțe.

Pentru înțelegerea celor ce urmează, este necesar să se definească întâi unele mărimi electrice în legătură cu caracteristicile circuitului.

— *Curentul admisibil prin conductor*, notat cu I_{ac} , este curentul care poate fi trecut timp nelimitat prin conductor, fără ca temperatura acestuia să depășească limitele admise. În capitolul XVI se dau curenții admisibili pentru unele tipuri de conductoare și cabluri.

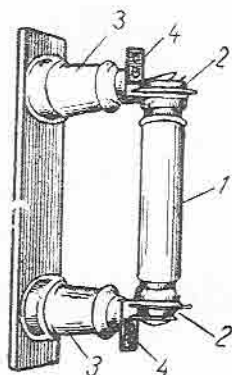


Fig. 12-6. Siguranță tubulară de înaltă tensiune:

1 — tub portfuzibil (patron); 2 — piese de contact; 3 — izolatoare suport; 4 — borne pentru legarea conductoarelor circuitului.

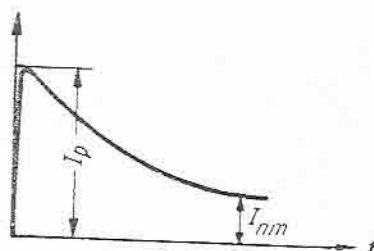


Fig. 12-7. Variația curentului absorbit de un motor în timpul pornirii motorului.

— *Curentul normal de sarcină al conductorului*, notat cu I_{ns} , este curentul care trece prin conductor cînd receptoarele alimentate de acel conductor sînt în funcțiune normală. De obicei, curentul normal de sarcină este mai mic decît curentul admisibil prin conductor, $I_{ns} < I_{ac}$, și aceasta din mai multe motive, în primul rînd din necesitatea de a menține căderile de tensiune în conductor în limitele admise (a se vedea capitolul XX, § 2).

— *Curentul de pornire al unui motor*, notat cu I_p este curentul absorbit de motor, în primul moment al conectării sale la o rețea; după cum se va vedea în capitolul XIV acest curent poate fi de 4—7 ori mai mare decît curentul I_{nm} absorbit de motor în sarcină sa normală (nominală). În timpul cît motorul pornește (își mărește viteza, pînă la viteza normală) curentul absorbit de motor scade de la valoarea I_p pe care a avut-o inițial, la valoarea I_{nm} (fig. 12-7). Timpul în care curentul de pornire scade la valoarea I_{nm} variază de la cîteva secunde (motoare mici) pînă la cîteva zeci de secunde (motoare mari care pun în mișcare dispozitive mari, de exemplu un pod rulant).

— *Curentul maxim al circuitului (conductorului)*, notat cu I_{max} , este curentul maxim care poate apărea la un moment dat în circuit. Curentul maxim este mai mare ca I_{ns} , din cauza curenților de pornire ai motoarelor.

Pentru conductoarele care alimentează un singur motor, curentul maxim este egal cu curentul de pornire al motorului respectiv:

$$I_{max} = I_p. \quad (12.1)$$

* Vezi și capitolul XX.

Pentru conductoarele care alimentează mai multe receptoare, printre care se găsesc și motoare electrice:

$$I_{max} = \Sigma I_{ns} + I_{p\ max} \quad (12.2)$$

în care: $I_{p\ max}$ este curentul de pornire al motorului cu cel mai mare curent de pornire
 ΣI_{ns} — suma curenților de sarcină normală a celorlalte motoare și receptoare.

La alegerea siguranțelor fuzibile trebuie să se țină seama de următoarele condiții:

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească în funcționarea normală, curentul nominal al fuzibilului I_{nf} , trebuie să fie mai mare sau cel puțin egal cu curentul normal de sarcină I_{ns} , al circuitului respectiv:

$$I_{nf} \geq I_{ns} \quad (12.3)$$

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească la pornirea motoarelor, curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relația:

$$I_{nf} \geq \frac{I_{max}}{k} \quad (12.4)$$

în care coeficientul k are următoarele valori:

$k=2,5$ — în cazul motoarelor cu condiții de pornire normale (porniri rare și de durată scurtă de circa 5—10 s);

$k=1,6-2$ — în cazul motoarelor cu condiții grele de pornire (porniri dese și de durată mare, până la 40 s).

— Față de curentul admisibil al conductorului I_{ac} curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relația:

$$I_{ac} \geq \psi I_{nf} \quad (12.5)$$

în care ψ este un coeficient care depinde de felul relației și de suprasarcinile care pot apărea în rețea așa cum se arată în tabela 12—2.

Cu cât ψ are o valoare mai apropiată de 1,25, cu atât este mai mică posibilitatea de a supraîncărcă conductorul pe care s-a montat siguranța, deoarece când prin conductor trece curentul maxim admisibil, fuzibilul este străbătut de un curent apropiat de curentul minim de topire, deci este pe punctul de a se topi. Astfel, se evită posibilitatea de a supraîncălzi conductorul și prin aceasta de a-i îmbătrâni izolația.

Pentru fuzibil se alege din scara curenților nominali ai fuzibilelor o valoare egală sau imediat superioară valorii maxime rezultate din condițiile de mai sus.

Trebuie remarcat că în unele cazuri, condițiile de alegere a siguranței fuzibile impun (prin relațiile 12-4 și 12-5) mărirea secțiunii conductorului protejat.

Tabela 12-2

Valorile coeficientului ψ din relația 12.5

Felul încăperii	Felul rețelei	$\psi = \frac{I_{ac}}{I_{nf}}$
Locuințe, localuri publice ; birouri și încăperi de ser- viciu din întreprinderi in- dustriale	<i>Rețelele de forță și lumină</i> — conductoare în țevi sau pe suporti izolați — cabluri	1,25 1
Încăperi de producție ale întreprinderilor industr- ale	<i>Rețele de forță</i> — Feedere* și linii principale în țevi — Feedere și linii principale pe suporti izo- lanți — Feedere și linii principale în cabluri sub- terane — Derivații spre receptoare cu regim de du- rată**, montate în țevi — idem, montate pe suporti izolanți — idem, în cabluri — Derivații spre receptoare cu regim inter- mitent** în cabluri sau conductoare în țevi <i>Rețele de lumină</i> — Feedere, linii principale și derivații în cabluri, conductoare în țevi sau pe su- porți izolanți	0,66 0,85 0,66 0,33 0,85 0,33 0,5 1
Încăperi în care există pericol de explozie	<i>Rețele de forță și lumină</i> — Feedere, linii principale și derivații, cu conductoare în țevi, pentru orice regim de funcționare al receptoarelor — Idem, în cabluri	1,25 1

* Feeder se numește un cablu principal, care alimentează un receptor important (post de transformare, motoare mari etc.).

** Regimul de durată și intermitent se referă la funcționarea continuă sau cu între-
ruperi a receptoarelor.

Alegerea siguranțelor cu inerție sau cu întârziere se face fără a mai ține seama de relația 12-2, deoarece aceste fuzibile nu se ard la șocurile de curent produse de pornirea motoarelor (durata acestor șocuri este scurtă, deci fuzibilul nu are timpul necesar să se ardă).

Acest fapt duce uneori (prin relația 12-5) la micșorarea secțiunii conductoarelor, față de cazul folosirii siguranțelor normale și deci la o economie de materiale conductoare în rețeaua electrică.

În cazul unei instalații obișnuite în care nu apar, sub formă de șoc, curenți mai mari decât curenții normali de sarcină, siguranțele fuzibile pentru protecția conductoarelor contra suprasarcinilor se aleg, indiferent de tipul siguranței, conform tabelii 12-3.

Tabela 12-3

Siguranțe fuzibile pentru protecția conductoarelor instalațiilor electrice
(sarcină permanentă, fără șocuri)

Secțiunea conductorului (mm ²)	Curentul nominal al fuzibilului I_{nf} (A)				
	Instalație fixă în tuburi		Instalație fixă aeriană		Instalație mobilă
	Cupru	Aluminiu	Cupru	Aluminiu	Cupru
0,75	—	—	—	—	6
1	6	—	—	—	6
1,5	10	6	—	—	10
2,5	15	10	—	—	20
4	20	15	—	—	25
6	25	20	—	—	35
10	35	25	—	—	60
16	60	35	—	—	80
25	80	60	—	—	100
35	100	80	—	—	125
50	125	100	—	—	160
70	160	125	200	160	200
95	200	160	260	200	225
120	225	200	300	260	260
150	260	225	350	300	300
185	300	260	430	350	350
240	350	300	500	430	430
300	430	350	600	500	500

b. Relee

Releul este un aparat care, sub influența unei mărimi pentru care releul a fost construit și reglat și pe care el o supraveghează, dă o comandă mecanică sau — de cele mai multe ori — o comandă electrică (prin închiderea sau deschiderea unor contacte ale sale). Releele sînt utilizate la instalațiile electrice pentru protecția acestora contra diferitelor situații anormale de funcționare. Cînd releul sesizează o asemenea situație, el dă un semnal optic sau acustic, sau comandă deconectarea instalației. Releele mai sînt utilizate în instalații industriale pentru automatizarea funcționării lor, în funcție de diferiți parametri ai instalației (tensiune, curent, viteză, presiune, debit, temperatură etc.).

Releele pot fi clasificate după mai multe criterii, și anume:

După natura mărimii la care releul lucrează (pe care releul o supraveghează) relelele pot fi:

- de tensiune,
- de curent,
- de putere,
- de timp etc.

După principiul de funcționare, releele cele mai des întâlnite pot fi: rele electromagnetice, la care funcționarea se bazează pe atragerea armăturii unui electromagnet;

— relee electrotermice, numite pe scurt relee termice, la care funcționarea se bazează pe dilatarea unor piese încălzite cu ajutorul curentului electric.

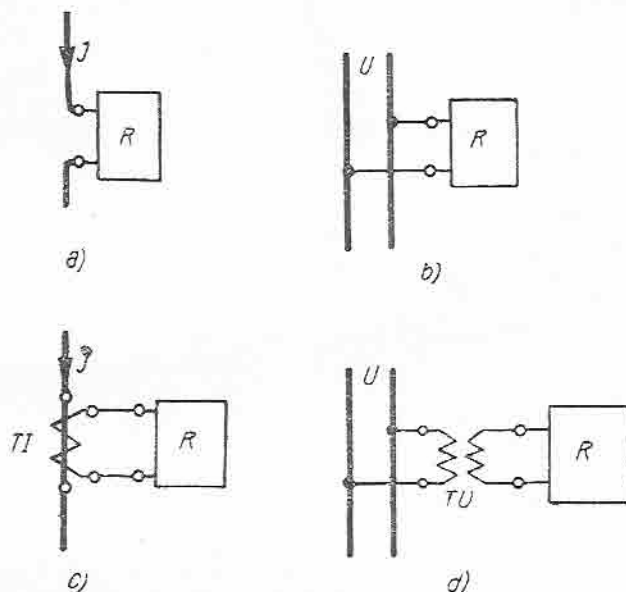


Fig. 12-8. Relee primare și secundare:

a — releu primar de curent; b — releu primar de tensiune;
 c — releu secundar de curent; d — releu secundar de tensiune;
 R — releu; TI — transformator de curent; TU — transformator de tensiune.

După modul cum sînt montate în circuit se deosebesc:

— rele primare, cînd sînt influențate nemijlocit de mărimea supraîncălzirii; bobinajele unui asemenea releu sînt parcurse chiar de curentul ce trebuie supravegheat (fig. 12-8, a) sau sînt alimentate chiar de tensiunea ce trebuie supravegheată (fig. 12-8, b);

— rele secundare, cînd sînt legate în circuit prin intermediul transformatoarelor de curent (fig. 12-8, c) sau de tensiune (fig. 12-8, d).

Relele primare se construiesc pentru o gamă largă de curenți și tensiuni, în scopul acoperirii în mod satisfăcător a necesităților foarte variate ale intensităților electrice. Relele secundare se construiesc pentru un număr de curenți și tensiuni (de exemplu 5—10 A sau 100 V), adaptarea la necesitățile instalației făcîndu-se cu ajutorul transformatoarelor de curent sau de tensiune. În instalații de înaltă tensiune se folosesc în general numai rele secundare.

După modul cum transmite comanda releele pot fi:

— rele directe, care efectuează direct mișcarea corespunzătoare comenzii, prin intermediul unor pîrghii legate de partea mobilă a releului

(fig. 12-9, *a*); de exemplu, la un întreruptor, releul direct acționează asupra dispozitivului care blochează întreruptorul în poziția închis, și ca urmare, întreruptorul se deschide;

— relele indirecte, la care, prin mișcarea piesei mobile, se închide sau se deschide un circuit electric, care la rândul său alimentează un alt aparat (servomotor, contactor) cu ajutorul căruia se efectuează mișcarea mecanică corespunzătoare comenzii (fig. 12-9, *b*).

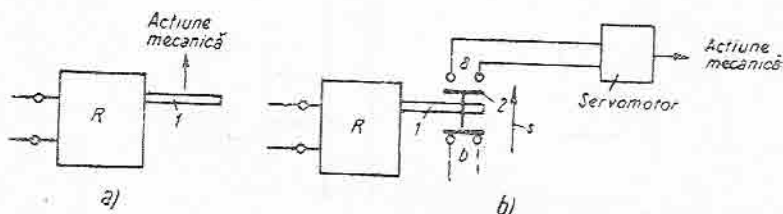


Fig. 12-9. Relele directe și indirecte:

a) — releu direct; *b*) — releu indirect; *R* — releu; *1* — piesă mobilă a releului; *2* — punte conductoare de curent pentru închiderea sau deschiderea contactelor de lucru; *a* — contact normal deschis; *b* — contact normal închis; *s* — sensul mișcării pârghiei *1*, când releul acționează.

Contactele releului se numesc contacte de lucru. La un releu, când acesta nu este parcurs de curent sau nu este alimentat cu tensiune, contactele de lucru pot fi deschise (contactele *a*, fig. 12-9, *b*) sau închise (contactele *b*, fig. 12-9, *b*). Poziția în care se găsește contactele când releul nu este parcurs de curent sau nu este alimentat cu tensiune se numește poziție normală; ca urmare, în figura 12-9, *b*, contactul *a* se numește contact normal deschis, iar contactul *b* se numește contact normal închis*. Când bobina releului este parcursă de curent, contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Un releu poate avea mai multe contacte normal deschise și mai multe contacte normal închise.

După felul variației mărimii care le acționează relele pot fi:

- relele maximele, care lucrează atunci când valoarea mărimii supravegheate depășește o anumită valoare reglată la releu;
- relele minimele, care lucrează la scăderea valorii mărimii sub o anumită valoare reglată.

După timpul de acționare se deosebesc:

- relele instantanee, care acționează practic în momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată;
- relele temporizate sau cu întârziere, care acționează după un timp anumit (reglabil), măsurat din momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată.

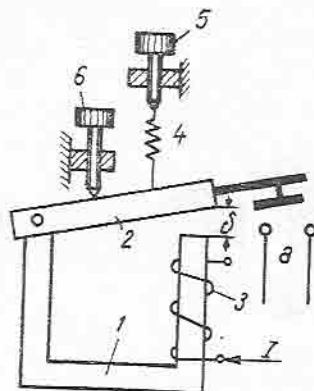
* Denumirile de *contact normal închis* și *contact normal deschis* se folosesc nu numai pentru contactele releelor, ci și pentru alte contacte, ca, de exemplu, pentru contactele contactoarelor sau pentru butoanele de comandă manuală. La butoanele pentru comandă manuală, poziția normală este poziția în care se găsește contactul, când butonul nu este apăsat.

În continuare se vor descrie unele tipuri de releu mai des întâlnite.

Relee maxime și minime de curent sau tensiune. Releul maximal de curent cel mai frecvent utilizat este de tip electromagnetice. El conține (fig. 12-10) un miez magnetic 1, cu o armătură mobilă 2. Pe miezul magnetic 1 se găsește bobinajul 3 parcurs de curentul de supraveghet (sau de un curent proporțional cu acesta, dacă releul este secundar). Dacă curentul în bobinajul 3 depășește o anumită valoare, releul își atrage armătura mobilă și întinde resortul antagonist 4; prin mișcarea armăturii, fie că se execută comanda (dacă releul este direct), fie că se închid sau se deschid contactele de lucru *a* (dacă releul este indirect, cazul din fig. 12-10).

Fig. 12-10. Releu maximal de curent (principiu):

1 — miez magnetic; 2 — armătură mobilă; 3 — bobinaj; 4 — resort antagonist; 5 — șurub de reglaj al resortului 4; 6 — șurub de reglaj al întrefierului inițial δ ; *a* — contacte de lucru.



Curentul la care releul își atrage armătura — numit curent de lucru — poate fi reglat prin ajustarea prealabilă a resortului 4 (întinzînd arcul mai mult, curentul de lucru crește). La unele releu, curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea întrefierului inițial δ cu ajutorul unui șurub de reglare 6; mărind întrefierul inițial, curentul de lucru crește. De asemenea curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea numărului de spire ale bobinajului releului; mărind numărul de spire, curentul de lucru scade.

De obicei, la releele folosite pentru protecție, curentul de lucru se reglează prin schimbarea tensiunii resortului antagonist; la releele de construcție mai îngrijită, elementul de reglaj al resortului (șurub, pîrghie) deplasează un indicator în fața unei scări gradate pe care sînt înscrise valorile curenților de lucru ai releului.

Dacă curentul scade sub valoarea reglată, resortul 4 aduce armătura în poziția inițială. În acest caz se spune că releul are revenire automată.

În mod analog se construiesc releu electromagnetice maxime de tensiune sau releu minime de curent și releu minime de tensiune. Releele minime mențin armătura atrasă și o eliberează cînd curentul, respectiv tensiunea, scad sub valoarea reglată. La releele de tensiune, bobina este o bobină de tensiune (adică este executată dintr-un conductor de secțiune mică, cu un număr mare de spire). Dintre aceste ultime releu, cele mai des folosite sînt releele minime de tensiune, denumite și releu de tensiune nulă.

Releele maxime și minime de curent sau de tensiune de tip electromagnetice se construiesc pentru curent continuu, cît și pentru curent alternativ. În curent continuu, miezul și armătura electromagnetului se

construiesc din oțel masiv; în curent alternativ, aceste piese se construiesc din tole, pentru a micșora pierderile în fier. În curent alternativ, forța de atracție a armăturii este variabilă, trecând prin zero ori de câte ori trece prin zero și curentul din bobinajul releului (la o frecvență a curentului de 50 Hz, forța trece prin zero de 100 ori pe secundă). Aceasta provoacă o vibrație a armăturii, care produce un biziit; vibrațiile se transmit și la contacte, înrăutățind funcționarea lor. Pentru a reduce această vibrație, pe o parte din polul electromagnetului se montează o spirală în scurtcircuit (fig. 12-11).

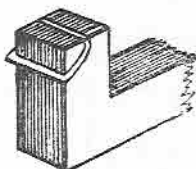


Fig. 12-11. Spirală în scurtcircuit pentru reducerea vibrațiilor armăturii unui electromagnet.

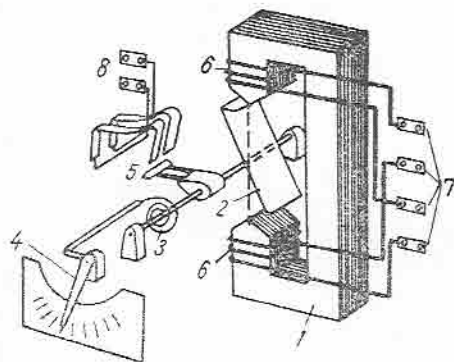


Fig. 12-12. Releu electromagnetic cu armătură rotitoare:

1 — miezul electromagnetului; 2 — armătură rotitoare (paletă); 3 — arc antagonist; 4 — reglajul arcului antagonist; 5 — contacte de lucru; 6 — bobinaje (releul are bobinajul împărțit în două jumătăți care se pot leza în serie sau în paralel); 7 — bornele bobinajelor; 8 — bornele contactelor de lucru.

Reducerea vibrațiilor armăturii se explică astfel: datorită curenților induși în această spirală, fluxul magnetic care trece prin zona închisă de spirală este defazat față de fluxul care trece prin restul secțiunii polului.

Fiecare zonă a polului produce câte o forță de atracție asupra armăturii, însă momentul trecerii prin zero a acestor forțe nu coincide. Ca urmare, forța de atracție rezultată asupra armăturii nu mai trece prin zero, iar vibrațiile sînt astfel reduse.

În figura 12-12 este reprezentată construcția unui releu maximal de curent de tip electromagnetic, cu armătură rotitoare, folosit ca releu secundar. La acest releu, cînd curentul depășește valoarea curentului de lucru, armătura se rotește, așezîndu-se în prelungirea capetelor circuitului magnetic fix (linia trasată punctat). Pe același principiu se construiesc și releele maximale sau minimale de tensiune.

Releele de tip electromagnetic, construite ca rele de tensiune sau de curent, maximale sau minimale, sînt folosite mult atît la protecția instalațiilor electrice, cît și la automatizarea lor. Pentru exemplificare, în figura 12-13 se reprezintă un releu de curent continuu folosit în mod obișnuit în instalațiile de automatizare.

Releele descrise mai sus au acțiune instantanee.

Relee temporizate. La releele electromagnetice de curent sau de tensiune, temporizarea se realizează introducînd un mecanism de temporizare (mecanism de ceasornicărie) între armătură și contactele releului (fig. 12-14).

Cînd armătura este atrasă, ea pune în funcțiune mecanismul de ceasor-

nicărie S , iar după trecerea unui anumit timp (reglabil), mecanismul de ceasornicărie efectuează închiderea sau deschiderea contactelor de lucru a . De obicei, temporizarea la aceste relee are loc numai la atragerea armăturii,

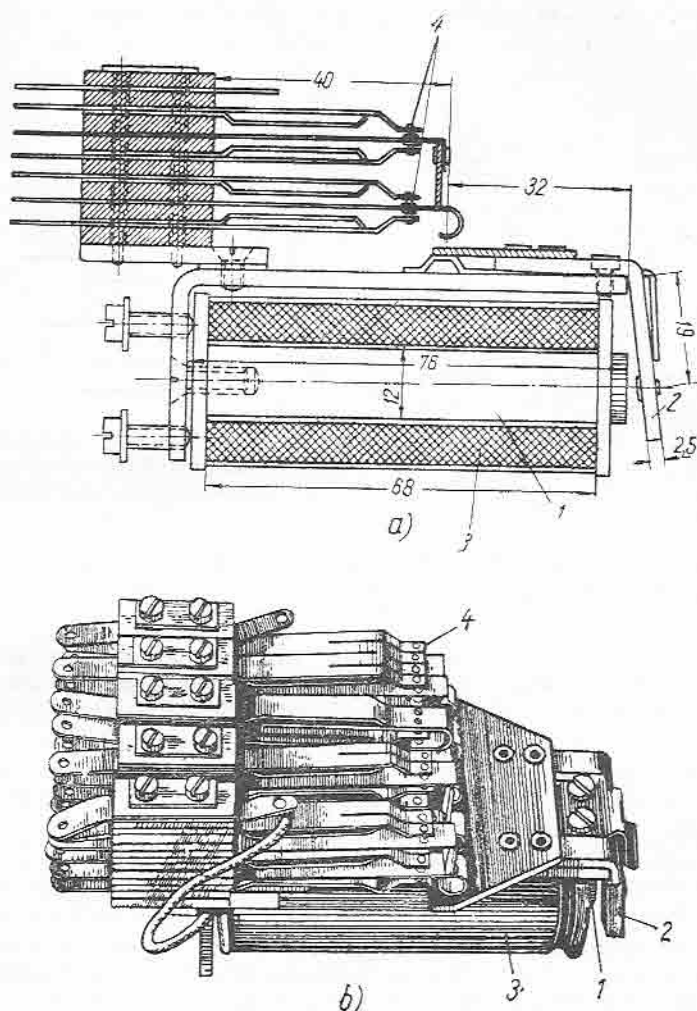


Fig. 12-13. Relee electromagnetice de curent continuu folosite în instalațiile de automatizare: a — secțiune; b — vedere:
1 — miez; 2 — armătură; 3 — bobină; 4 — contacte de lucru.

revenirea contactelor în poziție normală, sub acțiunea resortului R când armătura este eliberată, făcându-se instantaneu. Pe acest principiu se bazează construirea releelor de curent sau de tensiune, maxime sau minime, temporizate.

Releul electromagnetic temporizat este folosit și pentru a transmite cu anumită întârziere comenzile unor relee cu acțiune instantanee, în care caz releul se numește și releu de timp. În acest scop (fig. 12-15), contactele a ale releului R_1 cu acțiune instantanee închid circuitul bobinei releului de timp R_2 , alimentînd-o cu tensiune constantă; releul de timp își închide sau își deschide contactele b cu întârziere și transmite mai departe (cu această întârziere) comanda releului cu acțiune instantanee.

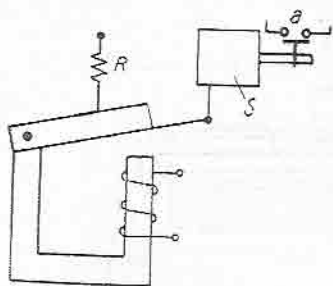


Fig. 12-14. Releu temporizat.

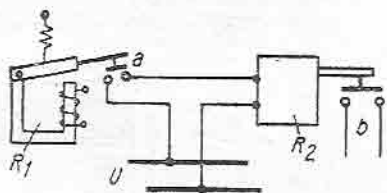


Fig. 12-15. Principiul temporizării acțiunii releelor instantanee:

R_1 — releu cu acțiune instantanee;
 R_2 — releu de timp.

Releele temporizate sau de timp, construite după principiul electromagnetic arătat mai sus, pot funcționa atât în curent continuu, cât și în curent alternativ.

În curent continuu, temporizarea releelor electromagnetice, folosite la instalațiile automatizate, se poate realiza și pe baza curenților închși într-un tub de cupru (montat pe miezul bobinei) la variația fluxului magnetic prin miez (la conectarea sau deconectarea releului). Potrivit regulii lui Lenz, fluxul magnetic produs de acești curenți se opune cauzei care i-a dat naștere (creșterii sau scăderii fluxului prin miez). Se întârzie astfel fie atragerea, fie eliberarea armăturii.

Relee termice. Releele termice sînt relee maxime de curent, funcționînd pe baza dilatării inegale a două metale diferite, încălzite cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Releele termice (fig. 12-16) conțin o lamă bimetalică I , formată prin lipirea a două lamele din metale diferite. Lama bimetalică este încălzită cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Din acest punct de vedere releele pot fi:

— cu încălzire directă, cînd bimetalul este încălzit direct prin trecerea curentului chiar prin lama bimetal (fig. 12-16, a);

— cu încălzire indirectă, cînd bimetalul este încălzit indirect, prin intermediul unei rezistențe R , străbătută de curent (fig. 12-16, b).

Cînd lama bimetalică (bimetalul) este încălzită, ea se încovoie, deoarece — prin dilatare — cele două straturi de metal se lungesc diferit. Cînd

curentul depășește o anumită limită lama se încovoiește atât încît deschide (sau închide) contactele de lucru 2 ale releului. Prin contactele sale de lucru, sau prin acțiunea directă, releul transmite comanda după un timp cu atât mai mic, cu cît curentul care trece prin releu este mai mare (deoarece bimetalul se încălzește cu atât mai repede cu cît curentul este mai mare).

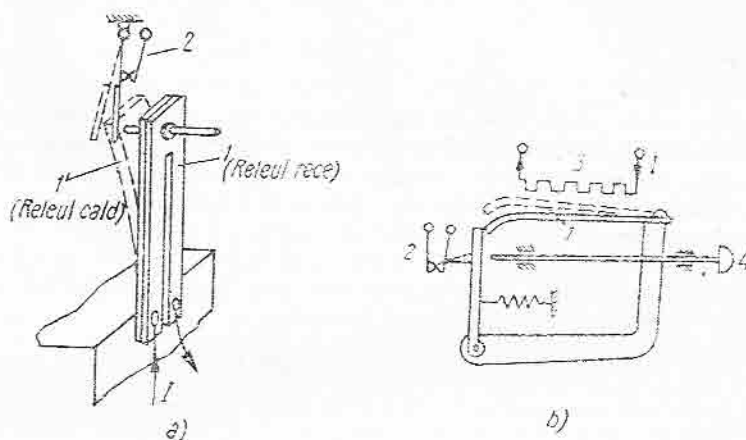


Fig. 12-16. Relee termice:

a — cu încălzire directă; b — cu încălzire indirectă; 1 — lamă bimetal; 2 — contacte de lucru; 3 — rezistență de încălzire; 4 — buton de revenire.

Curentul maxim care poate fi trecut prin releu și la care releul încă nu lucrează chiar dacă curentul trece prin releu timp nelimitat, se numește valoare reglată, sau curent de lucru al releului. Valoarea curentului de lucru poate fi și ea reglată (poate fi făcută mai mare sau mai mică) prin schimbarea depărtării între lama bimetalică și contactele de lucru sau prin schimbarea rezistenței de încălzire (dacă rezistența de încălzire se micșorează căldura degajată $0,24 R I^2 t$ calorii este mică, releul se încălzește mai greu, valoarea curentului de lucru se mărește). Cea mai mare valoare a curentului de lucru care poate fi reglată pe releu se numește curent nominal al releului. Curentul nominal al releului este marcat pe releu sau este egal cu curentul nominal al aparatului în care este montat releul. Reglarea curentului de lucru se face practic prin deplasarea unui reper în fața unei scări pe care sînt marcate fracțiuni zecimale (de obicei de la 0,6—1); aducînd reperul la diviziunea 0,7 înseamnă că releul va lucra la un curent egal cu 0,7 din curentul nominal al releului.

Deoarece încălzirea lamei bimetalice se face după un anumit timp, relele termice nu acționează la șocurile de curent de scurtă durată (de exemplu la curenții de pornire ai motoarelor), ci la curenți de lungă durată care sînt mai mari decît o anumită valoare reglată la releu.

Relele termice sînt folosite pentru a asigura protecția instalațiilor electrice contra suprasarcinilor; ele trebuie să comande deconectarea instalației, după un timp care depinde de mărimea suprasarcinii, așa cum s-a arătat mai sus, astfel încît, în acest timp, încălzirea instalației să nu depășească limitele de încălzire admise.

4. APARATE DE CONECTARE

Aparatele de conectare sînt următoarele : întreruptoare, separatoare, contactoare, ruploare, comutatoare, controlere, prize de curent cu fișe.

a. Întreruptoare

Întreruptoarele sînt aparate care închid sau deschid circuitele electrice sub sarcină, adică circuitele care sînt străbătute de curenți electrici.

În esență, un întreruptor conține unul sau mai multe contacte fixe și mobile. Cînd contactele mobile sînt aduse în contact cu cele fixe, întreruptorul este închis și în felul acesta se asigură continuitatea electrică a circuitului pe care este montat întreruptorul (circuitul este și el închis); cînd contactele mobile sînt depărtate de cele fixe, întreruptorul este deschis, iar circuitul respectiv este întrerupt (deschis).

Constructiv, contactele mobile ale unui întreruptor se pot realiza, așa cum se arată principal în figura 12-17, în mai multe feluri :

— sub forma unei lame mobile M , care articulează în punctul A , și care prin rotire în jurul articulației poate fi introdusă în contactul fix F (fig. 12-17, a). Acest fel de contact se mai numește contact cuțit sau pîrghie (fig. 12-18 și fig. 12-19);

— sub forma unei traverse mobile M , care prin ridicare poate fi pusă în contact cu două contacte fixe F (fig. 12-17, b). Acest contact, după cum se vede, face o dublă întrerupere (fig. 12-23);

— sub forma unei tije mobile M , care prin deplasare poate fi introdusă într-un contact fix F (fig. 12-17, c și fig. 12-24) etc.

Cea mai grea situație pentru întreruptor apare atunci cînd el trebuie să întrerupă curenții de scurtcircuit, deoarece aceștia pot fi foarte mari în raport cu curentul normal de sarcină al circuitului. Întreruperea unui circuit

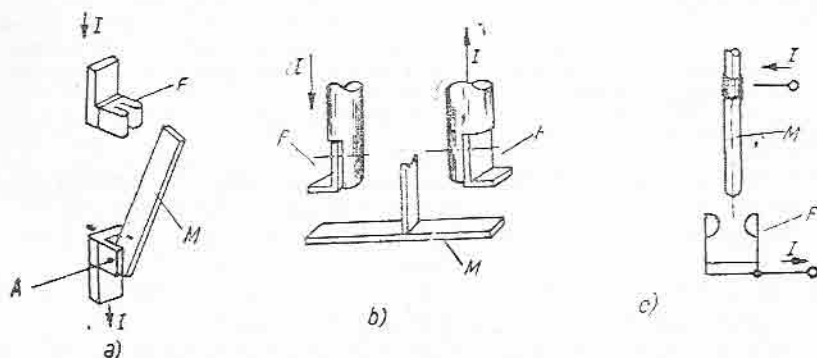


Fig. 12-17. Principiul de construcție a contactelor întrerupătoarelor;

a — contact cuțit ; b — contact cu dublă întrerupere ; c — contact cu tijă mobilă ; F — contact fix ; M — contact mobil.

sub sarcină este însoțită de apariția arcului electric între contactele fixe și cele mobile ale întreruptorului. Arcul se stinge cu atât mai greu, cu cât tensiunea și curentul sînt mai mari. În aceste cazuri (curent și tensiune mari), construcția contactelor întreruptorului devine foarte complicată deoarece prin temperatura sa ridicată, arcul electric distruge contactele, făcîndu-le inutilizabile cu timpul. De aceea, stingerea arcului la tensiuni și curenți mari necesită măsuri speciale care să micșoreze durata arcului, și anume:

- desfacerea contactelor cu viteză mare;
- folosirea unor dispozitive speciale, numite dispozitive de stingere a arcului, care se așază în jurul contactelor.

Întreruptoarele și, în general, orice aparate electrice, sînt caracterizate printr-o serie de mărimi indicate în cataloage sau în norme; cunoașterea acestor mărimi este utilă pentru a putea folosi în mod rațional întreruptoarele (sau aparatele respective). Cele mai importante dintre aceste mărimi sînt:

Tensiunea nominală U_n este cea mai mare tensiune standardizată pentru care a fost construit și la care poate fi folosit întreruptorul (sau aparatul).

Curentul nominal I_n este curentul cel mai mare care poate trece prin întreruptor (sau aparat) timp nelimitat, fără ca încălzirea lui să depășească limitele admise de norme.

Curentul de rupere I_{rup} este cel mai mare curent pe care îl poate întrerupe întreruptorul la tensiunea nominală, rămînînd în bună stare de funcționare.

Puterea de rupere S_{rup} (pentru un întreruptor trifazat) este puterea dată de expresia:

$$S_{rup} = \sqrt{3} U_n I_{rup}. \quad (12.6)$$

Ea se măsoară în MVA.

La aparatele de joasă tensiune nu se dă puterea de rupere, ci *capacitatea de rupere* a întreruptorului. Capacitatea de rupere a unui întreruptor este curentul maxim pe care îl poate întrerupe întreruptorul la o tensiune dată și un cos φ dat.

Frecvența de conectare este numărul de acționări admise într-o oră (printr-o acționare se înțelege o închidere și o deschidere a contactelor). Aparatele de conectare au (după STAS 553-68) frecvențe de conectare de la 150 pînă la 3 000 acționări pe oră.

Întreruptoarele pot fi *neautomate* (manuale) sau *automate*.

a) **Întreruptoarele neautomate sau manuale** sînt întreruptoarele a căror închidere și deschidere se face numai manual, pe seama energiei mușchilor omului, fie direct, fie printr-o transmisie cu pîrghii.

Acest fel de întreruptoare sînt de tipul indicat în figura 12-18, *a*, și din acest motiv se numesc întreruptoare cu pîrghie. Ele sînt folosite numai la joasă tensiune și se montează pe un tablou, fie în fața tabloului (fig. 12-18, *a*), fie în spatele tabloului (fig. 12-18, *b*).

La construcțiile moderne, pentru a mări viteza de deschidere a contactelor, se adaugă un contact auxiliar (fig. 12-19) legat printr-un resort r de cuțitul principal.

Aceste întreruptoare sînt construite (după STAS 2425-67) monopolare, bipolare sau tripolare, pentru tensiunea nominală de 500 V și curenți nominali de 25, 60, 100, 200, 350, 600 și 1 000 A.

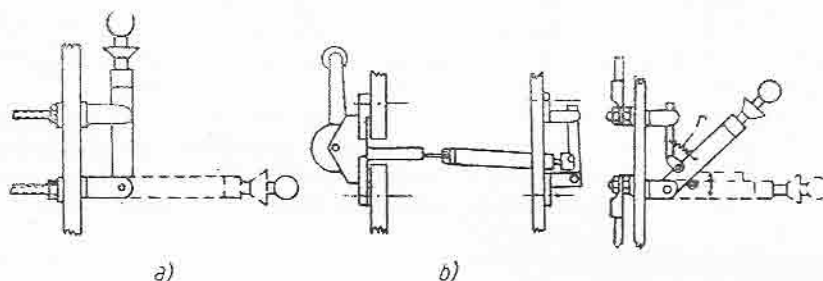


Fig. 12-18. Întreruptoare cu pîrghie:
a — montat în fața tabloului; b — montat în spa-
țiile tabloului.

Fig. 12-19. Întreruptor cu
pîrghie, cu contact auxi-
liar.

Capacitatea de rupere I_c în raport cu curentul nominal I_n al întrerup-
toarelor cu pîrghie, la diferite tensiuni nominale U_n este :

— în curent continuu

la $U_n=500$ V, iar

$I_c=0,75I_n$ la $U_n=250$ V, iar $I_c=0,25I_n$

— în curent alternativ

la $U_n=380$ V

$I_c=0,8I_n$ la $\cos \varphi=1$; $I_c=0,5I_n$ la $\cos \varphi=0,7$;

la $U_n=500$ V

$I_c=0,4I_n$ la $\cos \varphi=1$; $I_c=0,3 I_c$ la $\cos \varphi=0,7$.

Întreruptorul pachet este un alt tip de întreruptor neautomat, la care piesele mobile ale contactelor sînt montate pe un ax izolant iar piesele fixe sînt prinse între mai multe plăci izolatoare, suprapuse, formînd un pachet (de unde și numele întreruptorului). Conform STAS 5414-67 întreruptoa-
rele pachet se contruiesc pentru tensiuni de 250, 380 și 500 V în curent al-
ternativ și 250 și 500 V în curent continuu și pentru curenți nominali de
10, 25, 60 și 100 A. Capacitatea de rupere a acestor întreruptoare este de
 $I_c=I_n$ la $\cos \varphi=1$ și $I_c=0,6I_n$ la $\cos \varphi=0,6$.

b). **Înterupătoarele automate** sînt întreruptoarele care pot fi deschise automat sub comanda releelor. La întreruptoarele automate de joasă tensiune, releele sînt cuprinse chiar în construcția întreruptorului; la înaltă tensiune, releele (în general rele secundare) sînt montate în afara construcției întreruptorului.

Întreruptorul poate fi închis sau deschis cu ajutorul unui dispozitiv acționat *manual* — printr-o pîrghie sau un volan de acționare (fig. 12-23); *electric* — prin electromagnet, motor electric; *pneumatic* — prin aer comprimat. În ultimele două cazuri comanda se dă prin apăsare pe un buton.

Simultan cu mișcarea de închidere a contactelor întreruptorului este armat și un resort (resortul este întins sau comprimat). O dată închis, întreruptorul rămîne blocat în această poziție, datorită unui dispozitiv de zăvorîre sau zăvor, chiar după ce încetează acțiunea de închidere a întreruptorului; cînd se dă comanda de deschidere, se deblochează dispozitivul de zăvorîre și, sub acțiunea resortului amintit mai sus, contactele întreruptorului se deschid cu o viteză mare. Deblocarea dispozitivului de zăvorîre se poate face voit (fie mișcînd în sens invers pîrghia sau volanul de acționare, fie apăsînd pe un buton special pentru deschiderea întreruptorului) sau automat, sub acțiunea releelor; releele pot efectua deblocarea dispozitivului de zăvorîre fie direct (fig. 12-20, *a*), în mod mecanic, prin intermediul unor pîrghii acționate de armătura mobilă a releelor (cazul releelor directe), fie indirect, prin intermediul unui electromagnet numit și declanșator, alimentat prin contactele de lucru ale releelor (fig. 12-20, *b*, fig. 12-22, fig. 12-29).

Releele folosite pentru a comanda deschiderea automată a întreruptorului sînt: rele maximale de curent, cu acțiune instantanee sau cu acțiune temporizată, rele termice și rele minimale de tensiune (de multe ori releul minimal de tensiune joacă și rolul de declanșator). Se menționează că, în general, un întreruptor are toate aceste trei tipuri de rele numai dacă prin el se conectează la rețea (fig. 12-21, *b*) un motor electric.

Aceste rele au drept scop să comande deschiderea întreruptorului, atunci cînd în circuitul pe care este montat întreruptorul apar regimuri anormale de funcționare.

Schemele electrice ale întreruptoarelor automate sînt de asemenea foarte variate. În figura 12-20, *a* se dă schema electrică de principiu a unui întreruptor automat cu rele maximale de curent și cu rele termice folosit la joasă tensiune la protecția liniilor electrice. În figura 12-20, *b* se dă schema de principiu a unui întreruptor automat care are în plus releu minimal de tensiune și care este folosit la protecția motoarelor electrice de joasă tensiune.

În figura 12-20 întreruptoarele *I* sînt figurate în poziția deschis. Întreruptoarele sînt zăvorîte de zăvorul *1*.

Întreruptoarele sînt prevăzute cu rele electromagnetice, maximale de curent *RM* și cu rele termice *RT*, care pot acționa mecanic asupra zăvorului *1* (*RM* și *RT* sînt în acest caz rele directe.) Releul *RM* și releul

RT din figura 12-20, *a* sînt parcurse de curentul din circuit (sînt relee primare); releul RT din figura 12-20, *b* este conectat prin intermediul unui transformator de curent TI (este un releu secundar).

Cînd curentul prin releul electromagnetic RM depășește o anumită valoare reglată pe releu și numită *curentul de lucru sau de acționare* a releului,

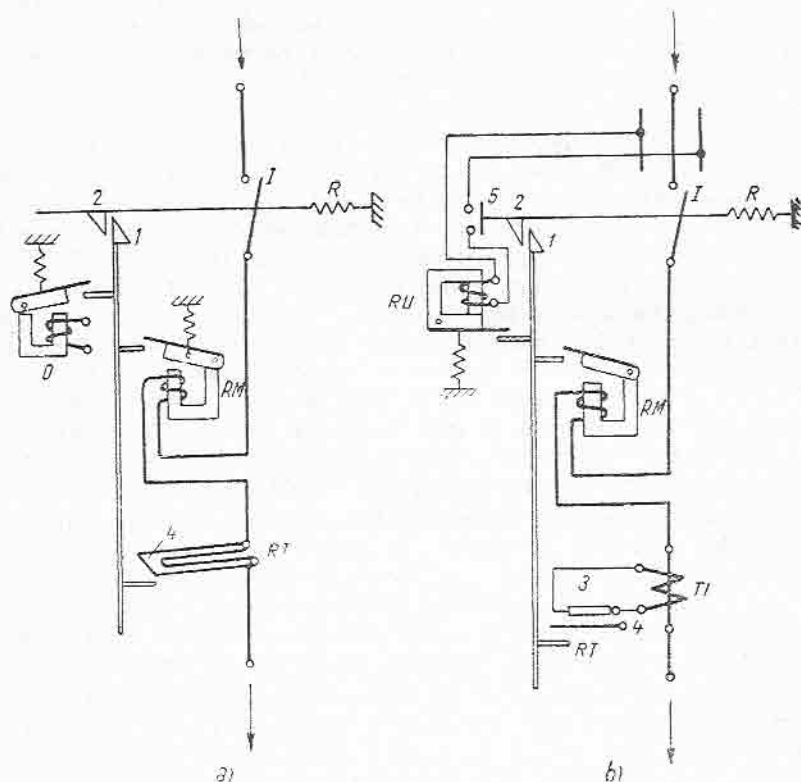


Fig. 12-20. Schemele de principiu ale construcției și funcționării întreruptoarelor automate:

a — pentru protecția liniilor electrice; *b* — pentru protecția motoarelor; I — contactele întreruptorului; RM — releu electromagnetic, maximal, de curent; RT — releu electrotermic; RU — releu minimal de tensiune; D — declanșator; R — resort; TI — transformator de curent; 1 — zăvor; 2 — piesă pentru reținerea întreruptorului în poziția închis; 3 — elementul de încălzire al releului termic; 4 — bimetalele releului termic; 5 — contacte de blocare normal deschise ale întreruptorului.

releul își trage instantaneu armătura; aceasta, la rîndul ei, trage zăvorul I și întreruptorul se deschide sub acțiunea resortului R . În mod asemănător, cînd curentul prin releul termic depășește valoarea reglată, releul trage zăvorul I după un timp cu atît mai scurt cu cît curentul prin releu este mai mare decît valoarea reglată. Uneori întreruptorul este prevăzut și cu un

electromagnet D , numit declanșator (fig. 12-20, a), a cărui armătură, atunci când este atrasă, poate deschide întreruptorul; în acest fel deschiderea întreruptorului poate fi comandată de la distanță.

Întreruptorul din figura 12-20, b conține în plus un releu minimal de tensiune (primar și direct), care permite zăvorirea întreruptorului numai dacă armătura releului este atrasă. În felul acesta releul minimal de tensiune asigură următoarea funcționare a întreruptorului:

— nu permite închiderea și zăvorirea întreruptorului decît dacă tensiunea la rețea este normală (la manevra de închidere a întreruptorului se închid întîi contactele de blocare δ (normal deschise), iar releul RU este pus sub tensiune; dacă tensiunea rețelei este mai mică decît $0,9 U_n$ sau lipsește, releul nu-și atrage armătura și menține zăvorul tras, împiedicînd astfel zăvorirea întreruptorului în poziția închis);

— deschide întreruptorul dacă în timpul funcționării tensiunea rețelei dispăre sau scade sub o anumită limită — de regulă $0,7 U_n$ — (în aceste cazuri releul își eliberează armătura, care, la rîndul ei, dezăvôrăște întreruptorul).

În multe cazuri (fig. 12-22, 12-29) funcția de releu minimal de tensiune o îndeplinește chiar electromagnetul de acționare al întreruptorului.

După mediul de stingere al arcului electric, întreruptoarele automate pot fi întreruptoare în aer, întreruptoare în ulei, întreruptoare cu expansină, întreruptoare cu aer comprimat și întreruptoare cu autoformare de gaze.

Întreruptoare în aer. La aceste întreruptoare, stingerea arcului se face în aer liber. Pentru ea arcul să nu se întindă între faze și să provoace astfel un scurtcircuit, fiecare contact este izolat într-o cameră dintr-un material izolant și refractar, numită *cameră de stingere*.

Pentru a favoriza stingerea arcului, fiecare din aceste camere, are uneori, în partea de sus, deasupra contactelor, un grătar format din o serie de lamele de cupru, izolate între ele. Arcul electric, care apare la deschiderea contactelor, este divizat prin aceste lamele într-o serie de arcuri scurte, ceea ce ușurează mult stingerea lui (dacă arcul este în curent alternativ).

Uneori, în interiorul acestor camere se produce un cîmp magnetic cu ajutorul unor bobine parcurse de curenții care trec prin contactele întreruptorului. Sub acțiunea acestui cîmp magnetic, arcul electric este împins, prin efectul forțelor electromagnetice, înspre exterior, este lungit și astfel este stins mai ușor. Dispozitivul acesta pentru stingerea arcului poartă numele de dispozitiv de „suflaj magnetic”. La curenții mai mari, întreruptorul are contacte de rupere care se închid înaintea și se deschid în urma contactelor principale. Arcul electric se formează deci între contactele de rupere, protejînd astfel contactele principale contra uzurii.

În aceste cazuri, bobinele pentru suflaj magnetic se leagă în serie cu contactele de rupere.

Acest fel de întreruptoare se folosesc la joasă tensiune în curent continuu sau în curent alternativ. La noi în țară ele sînt simbolizate prin DITA urmat de un număr care arată curentul nominal al aparatului și de litera M sau L după cum întreruptorul este construit pentru protecția motoarelor sau a liniilor.

De exemplu, DITA 1 000 M înseamnă: disjunctor trifazat în aer pentru 1 000 amperi, construit pentru a fi folosit la protecția motoarelor elec-

trice. Acest aparat s-a construit la fabrica Electroaparataj — București, și este prevăzut cu următoarele relec:

— trei relec maximale de curent, electromagnetice, cu acțiune instan-tanee;

— trei relec termice (cu bimetal);

— un releu minimal de tensiune electromagnetic.

În figura 12-21 este prezentat un întreruptor automat în aer pentru 200 A și 500 V (AMT 200) produs al fabricii Electroaparataj. Schema elec-

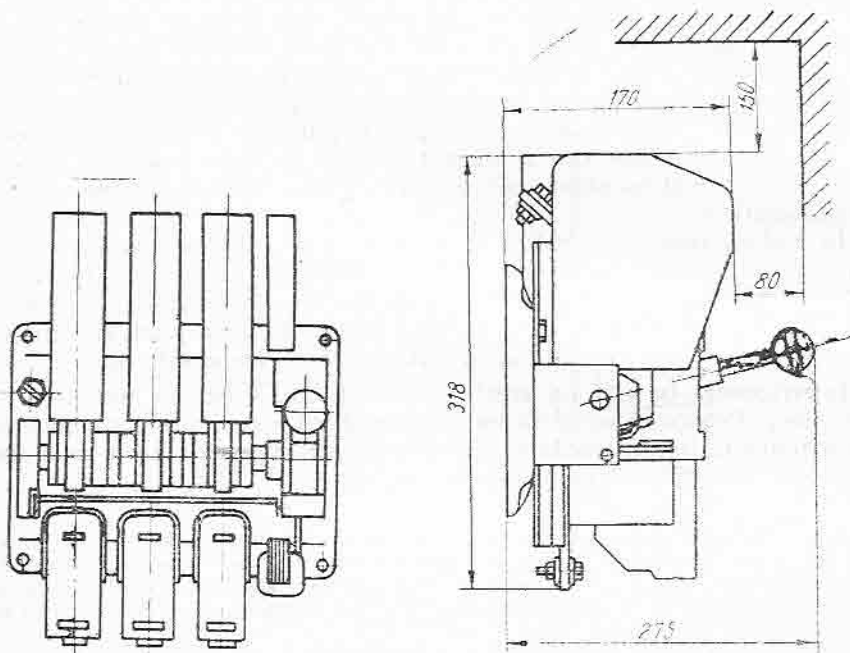


Fig. 12-21. Întreruptor automat în aer AMT 200.

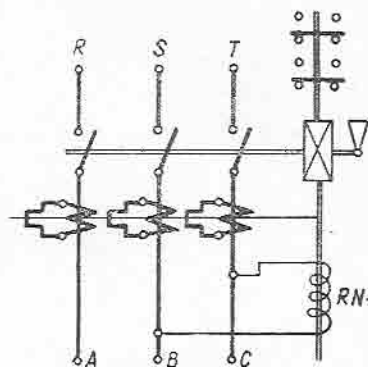
trică, a acestui aparat, în cazul utilizării lui la protecția motoarelor (la supra-sarcină, scurtcircuitul și tensiune minimă) este redată în figura 12-22.

Întreruptoarele în aer se folosesc la instalațiile electrice fixe, fiind mon-tate pe tablouri fie în fața tabloului, fie — mai des — în spatele tablou-rilor sau în interiorul celulelor (v. mai jos.). Când este montat pe tablou, întreruptorul, ca orice aparat electric, este închis într-o carcasă, a cărei construcție depinde de mediul exterior (loc uscat, umed, cu praf, cu gaze explozive etc.).

Întreruptoare în ulei. Întreruptoarele în ulei sînt montate într-o cuvă cu ulei care este un bun izolant și favorizează stingerea arcului electric. Aceste întreruptoare se folosesc numai la instalații electrice fixe de înaltă tensiune, dar numai în curent alternativ. Ele se construiesc cu volum mare de ulei (cu ulei mult) sau cu volum redus de ulei (cu ulei puțin).

Întreruptoare cu ulei mult. În figura 12-23 este reprezentată schematic construcția unui întreruptor trifazat cu ulei mult, de înaltă tensiune (6 kV). Elementele componente principale ale acestui întreruptor sînt: cuva metalică 1, căptușită cu material izolant (cuva este împărțită prin pereți despărțitori în trei compartimente, în fiecare comparti-

Fig. 12-22. Schema electrică a întreruptorului AMT 200, pentru protecția motoarelor.



ment așezîndu-se contactele unei faze); capacul 2 care susține șase izolatoare de trecere 3, fixate cu șuruburile 4, bornele de la capătul superior al izolatoarelor care sînt legate electric cu contactele 5 fixe de la capătul inferior, prin conductoare de cupru care trec prin interiorul izolatoarelor; contactele mobile 6 sînt montate pe o traversă conductoare, acționată cu ajutorul volanului 9, prin intermediul mecanismului cu pîrghii 7. O dată cu închiderea

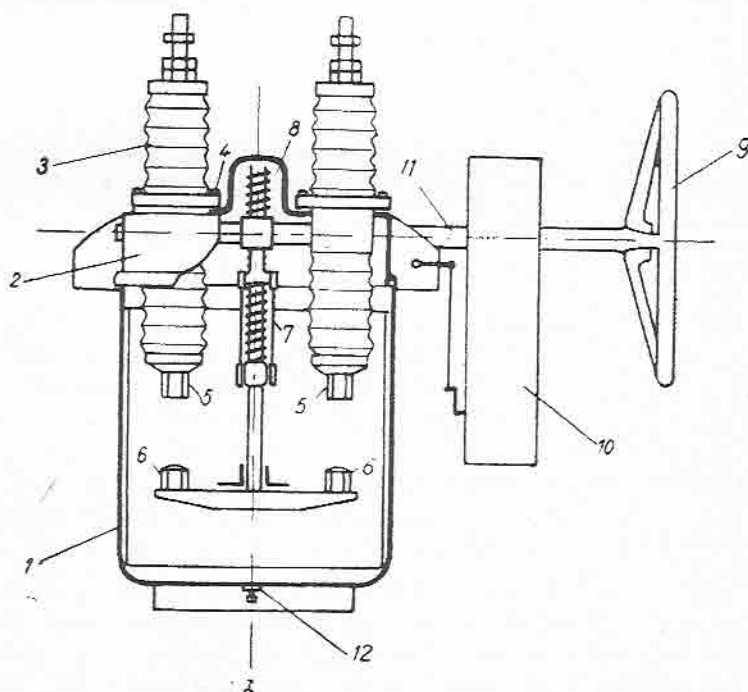


Fig. 12-23. Întreruptor trifazat cu ulei mult, pentru 6 kV (IU-6).

contactelor se armează și niște arcuri 8, sub acțiunea cărora se execută mișcarea la deschiderea contactelor, atunci când este ridicat un zăvor din broasca 10 a întreruptorului (broasca blochează axul de acționare 11 în poziția în care contactele principale 5, 6 sînt închise).

Cuva întreruptorului se umple cu ulei pînă la un anumit nivel. Robinetul 12 permite luarea probelor de ulei de la fundul cuvei, pentru controlul periodic al uleiului.

După cum reiese din figură, fiecare fază este întreruptă prin două contacte (rupere dublă). La deschiderea contactelor sub sarcină) adică atunci când contactele sînt străbătute de curent), apar arcuri electrice. În jurul fiecărui arc se formează bule de gaze produse prin acțiunea arcului electric asupra uleiului. Aceste gaze răcesc arcul și îl sting. După stingerea arcului, bula de gaze se ridică la suprafața uleiului, de unde gazele sînt evacuate în atmosferă. Dacă înălțimea de ulei deasupra contactelor este prea mică, gazele fierbinți nu se răcesc suficient și — ieșind la suprafață — se pot aprinde în contact cu aerul; în acest caz se aprinde și uleiul din cuvă, iar întreruptorul face explozie. Dacă nivelul uleiului este prea ridicat, cu alte cuvinte dacă salteaua de aer de sub capac este prea mică, se poate produce crăparea cuvei, deoarece șocul de presiune care se manifestă la apariția bulelor de gaze în jurul arcurilor electrice nu este suficient amortizat de salteaua de aer.

În întreruptoarele cu ulei mult, uleiul servește atât ca mediu de stingere a arcului cît și ca mediu izolant.

Întreruptoarele cu ulei mult se construiesc pentru tensiuni nominale pînă la 25 kV, la curenți nominali de 200—1 000 A și puteri de rupere de 200 MVA. Pentru tensiuni și puteri de rupere mai mari se montează camere de stingere.

Întreruptorul cu ulei puțin. În acest caz, uleiul este folosit numai ca mediu de stingere a arcului.

De aceea, față de un întreruptor cu ulei mult, la un întreruptor cu ulei puțin, greutatea uleiului poate fi redusă pînă la de 25 ori; prin aceasta, întreruptorul devine mult mai puțin voluminos și mai sigur în privința exploziilor și incendiilor.

În țara noastră, la întreprinderea „Electroputere” Craiova se construiesc următoarele tipuri de întreruptoare cu ulei puțin: IUP-10, IUP-35, și IUP-110.

În figura 12-24 este reprezentat un întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10), care poate fi folosit la tensiunile de 3, 6 și 10 kV, pentru curenți nominali pînă la 1 000 A.

La deschiderea contactelor 1—2 apare arcul electric. Acesta produce o bulă de gaze care comprimă aerul din camera 3. Totodată, pe măsură ce contactul mobil 2 se ridică, el liberează o serie de deschideri, prin plăcile izolante 4, și — ca urmare — începe să se exercite asupra arcului un puternic suflaj transversal de ulei datorită căruia arcul este stins repede. Puterea de rupere a acestor întreruptoare este de 100 MVA la 3 kV, de 200 MVA la 6 kV și de 350 MVA la 10 kV.

Întreruptoare cu expansină. Pentru a realiza avantajele întreruptoarelor cu ulei puțin, evitînd însă uleiul care totuși poate să se aprindă, se construiesc întreruptoare cu expansină. Expansina este un amestec de apă, glicerină și alcool, care nu arde și nu produce explozii. Constructiv, întreruptoarele cu expansină sînt asemănătoare celor cu ulei puțin.

Întreruptoare cu aer comprimat (întreruptoare pneumatice). Întreruptoarele cu aer comprimat folosesc ca mediu de stingere al arcului aerul comprimat care, suflînd asupra arcului electric în momentul deschiderii contactelor, lungește și răcește arcul pînă cînd îl stinge. Întreruptoarele cu aer comprimat se construiesc pînă la tensiuni de 400 kV. Pentru instalațiile mai mici, aceste întreruptoare au dezavantajul că necesită o instalație auxiliară specială pentru producerea aerului comprimat.

Înteruptoare cu autoformare de gaze. Pentru a elimina necesitatea unei stații de aer comprimat, ceea ce reprezintă un neajuns în cadrul instalațiilor mici, se construiesc întreruptoare la care camera de stingere este

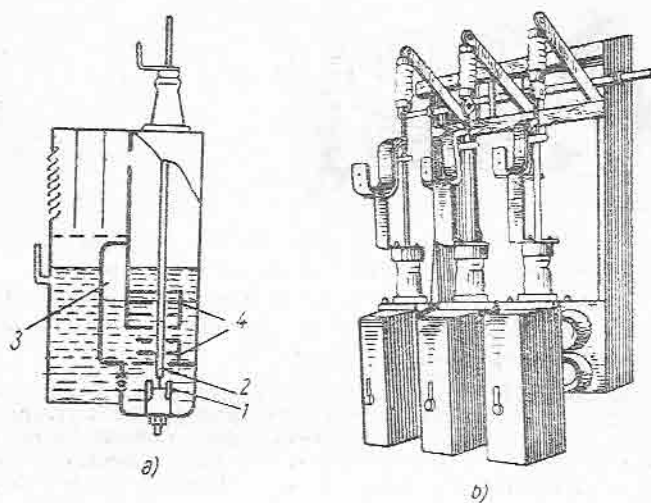


Fig. 12-24. Întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10):
a — secțiune prin camera de stingere a arcului; b — vedere.

căptușită cu substanțe speciale (rășini, sticlă organică); sub acțiunea arcului, aceste substanțe produc foarte multe gaze care, executând un suflaj asupra arcului, îl sting. Astfel de întreruptoare se construiesc pentru tensiuni până la 10 kV și puteri de rupere de 200 MVA.

Evident, după un număr oarecare de funcționări (circa 150), sub acțiunea arcului, substanțele generatoare de gaze se uzează și trebuie înlocuite.

b. Separatoare

Separatorul are o construcție de obicei asemănătoare cu aceea a întreruptorului manual cu pîrghie, cu deosebirea că el nu are niciodată carcasă de protecție. El se folosește atît în joasă tensiune, cît, mai ales, în înaltă tensiune pentru a scoate în mod vizibil de sub tensiune o instalație oarecare fără sarcină, care trebuie deconectată pentru diferite scopuri (reparații, manevre etc.). Separatorul nu are putere de rupere și de aceea el nu se manevrează niciodată în sarcină. El trebuie deschis numai după ce, în prealabil, circuitul a fost deschis (întrerupt) cu ajutorul întreruptorului. În caz contrar (deschizînd separatorul sub sarcină), arc electric care apare între contacte

nu se stinge, se întinde și se poate sări la fazele vecine, producând un scurt-circuit la barele stației sau postului de transformare, cu acțiuni foarte dăunătoare (separatorul și barele pot fi distruse).

În figura 12-25 este reprezentat un separator tripolar de 6 kV.

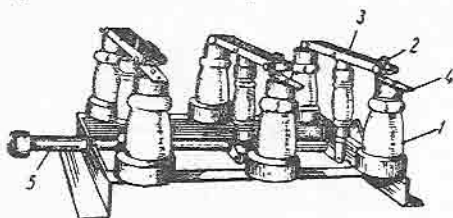


Fig. 12-25. Separator tripolar de 6 kV :

1 — izolator ; 2 — contact fix ; 3 — contact mobil (cuțit) ; 4 — borne ; 5 — ax pentru acționare.

Separatoarele sînt acționate cu ajutorul unei prăjini izolante sau cu ajutorul unei manete prin intermediul unui sistem de pîrghii.

La joasă tensiune, drept separator se utilizează întrerupătorul cu pîrghie. La unele aparate de joasă tensiune, cum sînt cele în construcție antideflagrantă, separatorul îndeplinește și funcția de inversor*.

Separatorul de putere. Pentru instalațiile de putere mică (tensiuni pînă la 10 kV și curenți pînă la 200 A) unde folosirea unui întrerupător pentru întreruperea circuitului sub sarcină și a unui separator pentru întreruperea vizibilă a circuitului este neeconomică, se construiesc separatoare de putere sau separatoare de sarcină. Separatorul de putere este un separator ale cărui contacte sînt echipate cu un dispozitiv pentru stingerea arcului produs de curenți egali cel mult cu curențul nominal (cu substanțe generatoare de gaze) de aceea separatorul de putere poate întrerupe curenți mai mici sau egali cu curențul

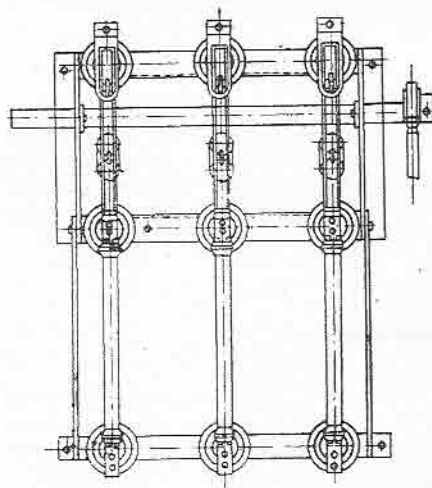
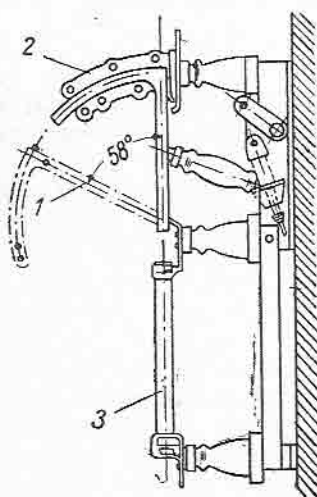


Fig. 12-26. Separator de putere :

1 — contact mobil (cuțit) al separatorului ; 2 — dispozitiv pentru stingerea arcului ; 3 — siguranță fuzibilă.

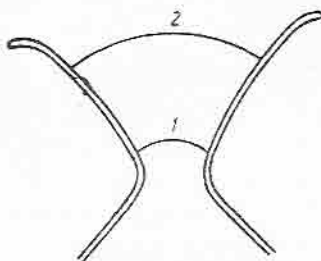
* Vezi la comutator.

lui nominal). Pentru întreruperea curenților mai mari decât curentul nominal (suprasarcini, scurtcircuite), în serie cu separatorul de putere se montează siguranțe fuzibile (fig. 12-26) care — după cum se știe — întrerup în foarte bune condiții curenții de scurtcircuit. În acest mod, separatorul poate înlocui cu succes întreruptorul, simplificând și ieftinind instalația respectivă.

Pentru a simplifica și mai mult aparatajul montat în exterior pe stâlpi (la derivațiile din liniile de 6 kV, la posturile de transformare rurale și la

Fig. 12-27. Coarne pentru stingerea arcului electric:

1 — poziția inițială a arcului; 2 — poziția finală a arcului (lungită) în momentul stingerii arcului.



cele folosite în industria petroliferă), este necesar să se dea oarecare capacitate de rupere separatoarelor, în care scop contactele separatorului sînt prevăzute cu coarne.

Coarnele unui separator sînt două piese de formă specială (fig. 12-27), una din piese fiind fixată pe contactul fix al separatorului, iar a doua, pe contactul mobil (pe cuțit).

Coarnele preiau arcul electric și, prin forma și poziția lor, lungesc arcul electric și îl sting. În felul acesta se poate întrerupe fără pericol curentul de mers în gol al transformatorului.

c. Contactoare și ruptoare

Contactorul este un aparat de conectare care închide un circuit electric sub acțiunea unei comenzi dinafară, dar, spre deosebire de întreruptor, el rămîne închis numai atît timp cît se exercită această comandă (la încetarea comenzii contactorul se deschide). Contactorul cel mai des folosit este de tip electromagnetic, construcția schematică fiind reprezentată în figura 12-28. El conține un electromagnet 1 cu o armătură mobilă, pe care este fixat un contact mobil 2.

Cînd armătura este atrasă, contactul mobil 2 vine în contact cu contactul fix 3, astfel încît se stabilește un circuit închis între borna 4 și borna 5.

Pentru închiderea contactului se apasă pe butonul 1, care este un contact „normal deschis”, care stă închis numai atît timp cît se apasă pe buton*. Prin aceasta, bobina 1 a electromagnetului este pusă sub tensiune și electromagnetul, atrăgîndu-și armătura, închide contactele contactorului. Rîdicînd

* Se menționează că butoanele de comandă normal deschise (de exemplu butonul 1 fig. 12-28) sînt și ele contactoare, și anume contactoare mecanice.

degetul de pe butonul *I*, curentul prin bobină se întrerupe, electromagnetul eliberează armătura și contactorul se deschide (sub acțiunea unui resort sau numai acțiunea greutății proprii). În cele mai multe cazuri, butonul *I* este contactul de lucru al unui releu denumit releu de comandă. În consecință, spre deosebire de întreruptor, care rămâne închis chiar și după ce a încetat acțiunea dispozitivului de acționare, contactorul rămâne închis numai atât timp cât bobina sa de acționare este parcursă de curent electric.

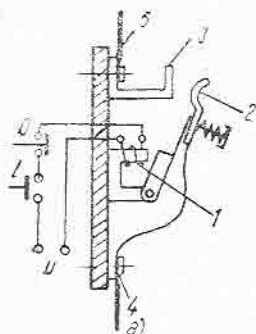


Fig. 12-28. Contactor electromagnetic.

Contactorul este prevăzut în general și cu o serie de contacte auxiliare (bloc-contacte), care sînt acționate solidar cu contactele principale. Bloc-contactele pot fi atât contacte normal deschise, cât și contacte normal închise; la închiderea contactorului, bloc-contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Bloc-contactele sînt foarte necesare în schemele de comandă, de semnalizare și de automatizare.

Contactele principale ale contactorului pot fi prevăzute cu dispozitive pentru stingerea arcului (suflaj magnetic, grătar din lamele metalice), astfel încît contactorul poate întrerupe circuite sub sarcină, ca și un întreruptor.

Pentru ca aparatul să stea închis chiar după ce nu se mai apasă pe butonul *I*, contactele acestui buton sînt șuntate de un contact normal deschis (de reținere) al contactorului. Deschiderea aparatului se poate realiza întrerupînd alimentarea electromagnetului de acționare, fie în mod voit — apăsînd pe butonul *O* (contact normal închis), fie automat — prin deschiderea contactelor de lucru ale releelor termice *RT*. Bobina de acționare a contactorului are și un rol de releu minimal de tensiune, deci aparatul se deschide cînd tensiunea rețelei scade sub 0,7 din tensiunea nominală.

În țara noastră contactoarele se fabrică după STAS 4479-67 pentru curenți de 6, 10, 32, 40, 63, 100, 160, 250 și 400 A, la tensiuni pînă la 500 V.

În general contactoarele se asociază cu relee termice, folosind astfel a comanda și protecția motoarelor electrice, în care caz sînt cunoscute sub denumirea de *contactoare cu relee*. Aceste aparate înseriate cu siguranță fuzibile, înlocuiesc în multe cazuri întreruptoarele automate. Întreprinderea «Electroaparataj» execută astfel de tipuri perfecționate de contactoare în aer (10—200 A) și în ulei (25—100 A), pentru curent continuu și curent alternativ. Astfel, aparatul DTU (contactor cu relee în ulei), prezentat în figura 12-29, cuprinde trei relee electromagnetice și trei relee termice. Pri-

mele asigură protecția instalației împotriva scurtcircuitelor, comandînd deschiderea contactorului fără întârziere, iar ultimele asigură protecția instalației la suprasarcini de durată.

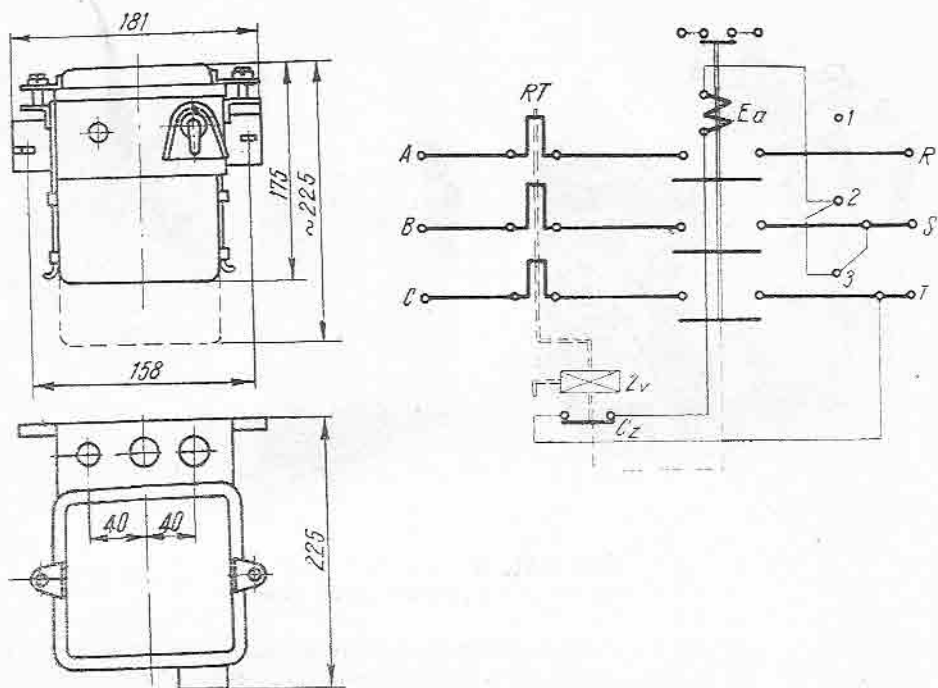


Fig. 12-29. Contactor automat tripolar în ulei DITU 25: RT — rele termice

Pentru funcționare în aer s-au construit contactoarele AC—1, AC—2, AC—3, (fig. 12-30, a) și AC—4 pentru curent alternativ și DC—1, DC—2, DC—3, DC—4 și DC—5 pentru curent continuu. În figura 12-30, b se prezintă un contactor cu rele cu funcție de întreruptor, format dintr-un contactor la care s-a adăugat un bloc de rele termice.

Contactoarele pot fi comandate foarte comod și de la distanță, de obicei cu ajutorul releelor de comandă. Ele se prelează foarte bine la realizarea schemelor de automatizare a instalațiilor. În acest ultim caz, contactoarele se montează împreună cu relele de comandă pe panouri, alcătuind așa-numitele „stații magnetice”.

Ruptorul este un aparat de conectare care deschide un circuit electric sub acțiunea unei comenzi din afară, menținându-l deschis numai atît timp cît durează această comandă.

Ruptoarele sînt construite în mod asemănător cu contactoarele, cu deosebirea că la atragerea armăturii electromagnetului de acționare contactele principale aparatului se deschid. Butoanele de comandă cu contacte normal închise sînt ruptoare mecanice (de exemplu *Q*; fig. 12-28). În practică, rup-

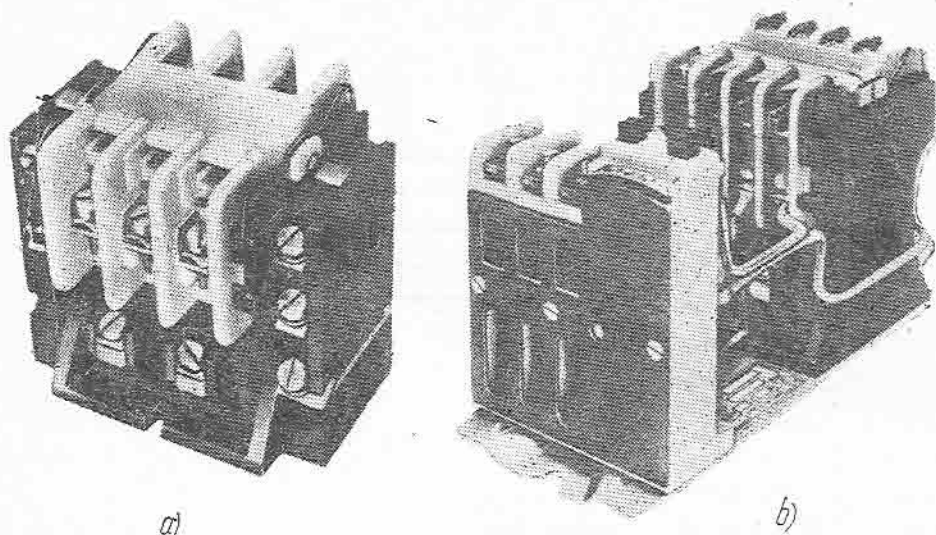


Fig. 12-30. Contactoare AC—3:
a — contactor; b — contactor cu releu.

torul mecanic se mai întâlnește cu funcțiunea de limitator de cursă a diferite utilaje: cînd este depășită cursa vreunei piese (pod rulant, masa unei raboteze etc.), limitatorul de cursă este apăsător, își deschide contactele, comandînd oprirea instalației*.

e. Comutatoare

Comutatoarele (fig. 12-31, *a*) sînt de obicei întreruptoare manuale de construcție specială, cu mai multe poziții, destinate pentru modificarea succesivă a conexiunilor într-o schemă electrică.

Astfel, atunci cînd comutatorul, denumit comutator cu pirghie, este închis pe contactele de sus (12—31, *b*), el alimentează de la rețeaua trifazată receptorul *A*; cînd este închis pe poziția de jos, alimentează de la rețea receptorul *B*, iar cînd este deschis (cu cuștile în poziție orizontală), întrerupe orice alimentare.

Comutatoarele cele mai des folosite sînt comutatoarele voltmetrice, comutatoarele stea-triunghi, comutatoarele inversoare și controlerul.

* De obicei limitatoarele de cursă au, pe lângă contacte normal închise, și contacte normal deschise (după necesitățile schemei de comandă în care este utilizat limitatorul de cursă).

Comutatorul voltmetric permite conectarea unui singur voltmetru pe rînd între diferite puncte, luate două cîte două, ale unor circuite. În felul acesta, cu un singur voltmetru se pot măsura pe rînd tensiunile de fază și tensiunile de linie ale unei rețele trifazate, așa cum se arată în figura 12-32.

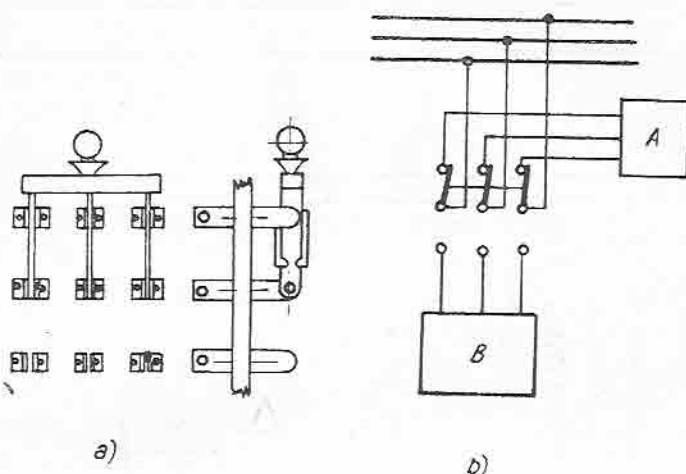


Fig. 12-31. Comutator cu pîrghie.

În acest caz, comutatorul are o serie de borne legate la fazele și la neutrul rețelei, două contacte 1 și 2, legate la bornele voltmetrului și două contacte alunecătoare *M*, deplasabile simultan prin rotirea unei manete care fac contact electric între borne și contactele 1 și 2.

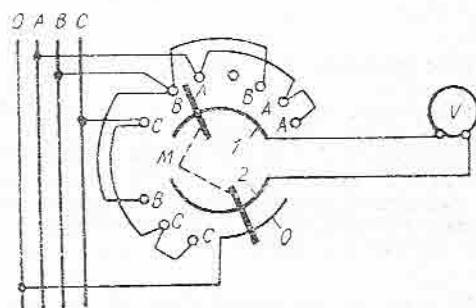


Fig. 12-32. Schema electrică a unui comutator voltmetric.

Comutatorul stea-triunghi (STAS 2738-69) permite o schimbare comodă a conexiunilor receptoarelor trifazate din stea în triunghi; această schimbare de conexiuni este folosită practic la pornirea motoarelor asincrone trifazate în scurtcircuit pentru a putea reduce curentul de pornire (așa cum se va arăta

în Cap. XIV). Drept comutator stea-triunghi se poate folosi comutatorul cu pîrghie reprezentat în figura 12-31, în montajul indicat în figura 12-33.

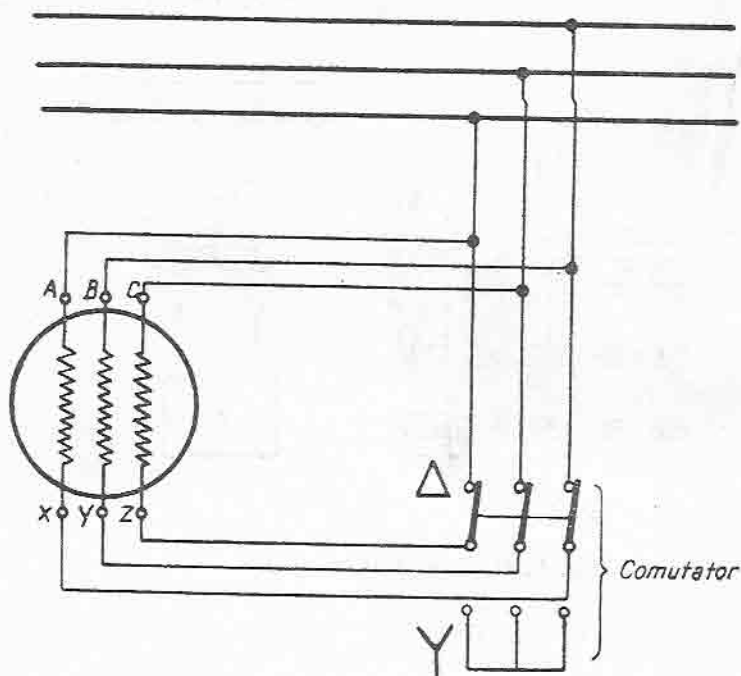


Fig. 12-33. Schimbarea conexiunilor stea-triunghi, cu ajutorul unui comutator cu pîrghie.

Cînd cuștile comutatorului sînt ridicate, motorul nu este alimentat de la rețea. Cînd comutatorul este închis în jos, fazele motorului sînt legate în stea, motorul pornește cu un curent de pornire mic. Apoi comutatorul se închide în sus; în acest caz, fazele motorului sînt legate în triunghi, poziție în care motorul funcționează în mod normal.

Comutatorul descris mai sus are dezavantajul că trecerea din poziția stea în poziția triunghi durează mult. Pentru înlăturarea acestui dezavantaj, se construiesc comutatoare stea-triunghi speciale, care au contactele montate pe un tambur care se rotește. Acest comutator are trei poziții marcate cu semnale: *O* (oprit, întrerupt), *Y* (stea), Δ (triunghi). Rotind tamburul în același sens, se trece succesiv prin pozițiile *O*, *Y*, Δ , *O*, *Y* etc.

În prezent se construiesc și comutatoare stea-triunghi automate, cu ajutorul unor contactoare; trecerea de la poziția stea la poziția triunghi se realizează automat, la comanda unui releu de timp sau a unui releu de curent. În acest ultim caz, la aparatele moderne se comandă automat și trecerea inversă, de la conexiunea triunghi la conexiunea stea, atunci cînd sarcina motorului a scăzut cu cel puțin $\sqrt{3}$ ori față de sarcina nominală, ceea ce face

ca la sarcini mai mici motorul să funcționeze cu conexiune în stea, cu un factor de putere mai bun decât în cazul conexiunii în triunghi.

Comutatorul inversor sau, pe scurt, *inversorul* servește la schimbarea conexiunilor la rețea ale unui motor trifazat, în scopul de a-i inversa sensul de mers. Aceste comutatoare se construiesc deseori ca și comutatoarele cu pîrghii tripolare sau bipolare. În figura 12-34 este reprezentată schema schim-

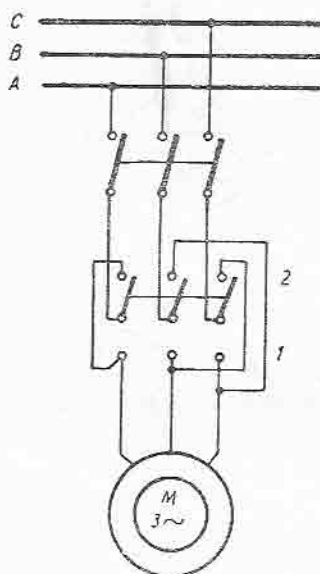


Fig. 12-34. Schimbarea succesiunii fazelor la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator.

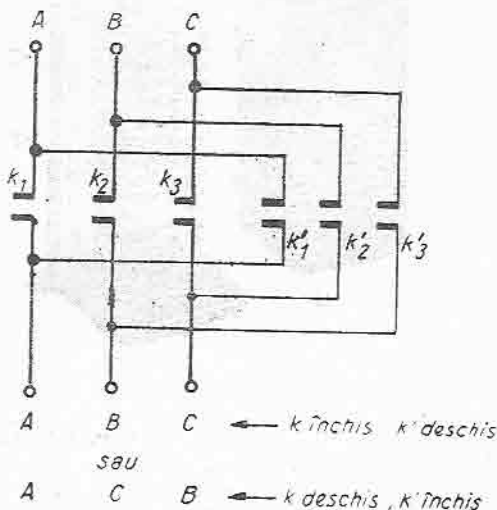


Fig. 12-35. Comutatorul inversor realizat cu două contactoare.

bării conexiunilor la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator tripolar. Când comutatorul este închis în poziția 1, bornele motorului sînt legate la rețea în ordinea ABC, iar când comutatorul este închis în poziția 2, bornele sînt legate la rețea în ordinea ACB, ceea ce determină schimbarea sensului de rotație al motorului.

În cazul comenzilor automate, inversoarele se realizează cu ajutorul a două contactoare, după cum se arată în figura 12-35. Când se închid contactele k_1, k_2, k_3 ale contactorului k , motorul are un sens de rotație, iar când se închid contactele k'_1, k'_2, k'_3 ale contactorului k' , motorul are sens de rotație invers. Se iau măsuri care să facă imposibilă închiderea simultană a ambelor contactoare.

Controlere. Acestea sînt comutatoare cu scheme complexe, utilizate în circuite de pornire, de reglaj sau de comandă. Controlerul are un număr mai mare de poziții și de contacte fixe 1, care se închid sau se deschid prin

intermediul unui tambur 2, pe care sînt așezate o serie de piese de contact 3 (controler cu tambur, fig. 12-36, *a*) sau prin intermediul unor came așezate pe un ax (controler cu came, fig. 12-36, *b*).

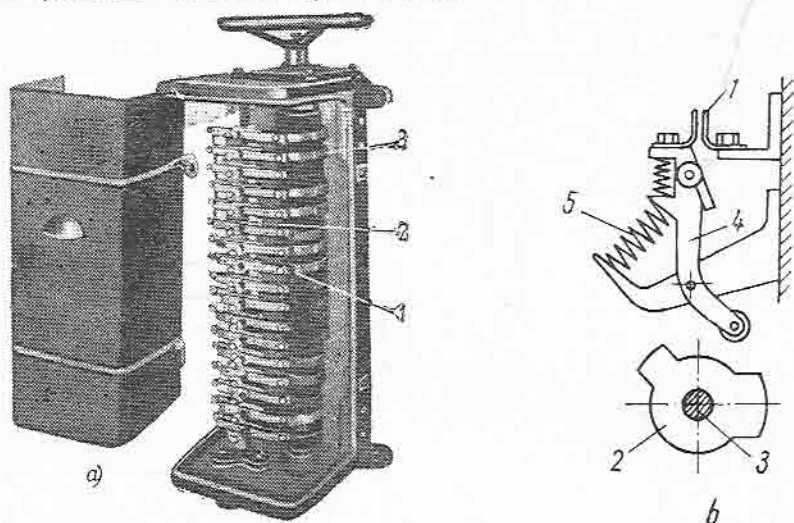


Fig. 12-36. Controler :

a — cu tambur : 1 — contact fix ; 2 — tambur ; 3 — piese de contact ; *b* — cu came : 1 — contact ; 2 — camă ; 3 — axul camelor ; 4 — pîrghie de acționare a contactului ; 5 — resort.

Conexiunile pe care le poate face un controler se reprezintă fie prin reprezentarea desfășurată a bornelor legate la contactele fixe și a pieselor de contact de pe tambur (fig. 12-37, *a*), fie printr-un tablou în care printr-o cruce (sau un punct) se indică contactele închise la o anumită poziție a controlerului (fig. 12-37, *b*).

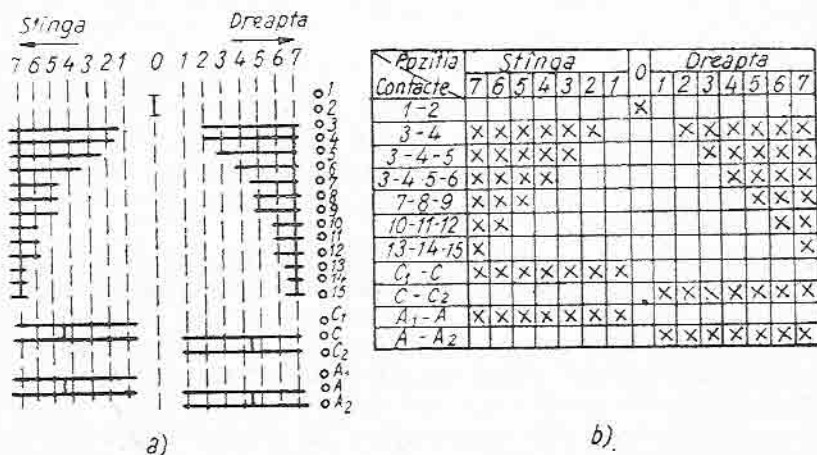


Fig. 12-37. Reprezentarea conexiunilor efectuate de un controler :

a — schema desfășurată a camelor ; *b* — tabloul contactelor.

Controlerul are o serie de borne (legate la contactele fixe) notate de exemplu 1, 2, 3, 4, ..., 15, C₁, C, C₂, A₁, A, A₂. Pe poziția 0 a controlerului borna 1 vine în contact cu o piesă de contact scurtă a tamburului, borna 2 în contact de asemenea cu o altă piesă de contact scurtă, cele două piese de contact fiind în legătură electrică: rezultă că pe poziția 0 sînt aduse în contact bornele 1 și 2 ale controlerului, lucru marcat cu o steluță în reprezentarea din figura 12-37, b. În mod analog se citesc și celelalte conexiuni efectuate de controler: de exemplu, pe pozițiile 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 stînga, bornele C₁ și C sînt în contact cu două piese de contact legate împreună, deci pe aceste poziții C₁ și C sînt în contact, lucru de asemenea indicat prin stelute pe figura 12-37, b.

Controlerile sînt folosite la pornirea, oprirea, inversarea sensului de mers și la reglajul vitezei motoarelor diferitelor utilaje (tramvaie, locomotive electrice, sonde acționate electric, trolii, poduri rulante, macarale etc.).

f. Priza de curent cu fișă

Priza de curent cu fișă este un aparat de conectare, destinat a lega două instalații electrice, una fixă și alta mobilă, sau două instalații mobile, permițînd — ori de cîte ori este nevoie — conectarea și deconectarea lor. Cînd ambele instalații sînt mobile, priza cu fișă se mai numește și *conector*. Priza de curent cu fișă efectuează conectarea prin simpla introducere a unor piese de contact asamblate într-un corp numit fișă, în alte piese de contact asamblate în alt corp, numită priză.

Priza este organul terminal al unei rețele electrice; în mod normal, ea are deci tensiune. Fișa este organul care, introdus în priză, primește energia electrică de la rețea; în consecință, cînd fișa este scoasă din priză, ea nu are tensiune. Prizele cu fișă se construiesc pentru tensiuni pînă la 500 V și curent de 6, 10, 25 și 60 A. În figura 12-38 este reprezentată o priză cu fișă capsulată în fontă.

Uneori prizele sînt prevăzute și cu contact suplimentar de legare la pămînt a anumitor părți din instalație.* În acest caz, contactul de legare la pămînt trebuie să se închidă înaintea contactelor principale (prin care circulă curentul) și să se deschidă în urma lor.

g. Aparataj mărunt

O categorie distinctă de aparataj electric o formează aparatajul folosit la instalațiile interioare din clădiri industriale și de locuit, pentru circuitele de iluminat și de utilizări casnice ale energiei electrice; acest aparataj,



Fig. 12-38. Priză de curent cu fișă (execuția capsulată în fontă).

* Vezi capitolul XXII.

denumit aparatăj mărunț, se construiește pentru tensiuni pînă la 500 V și curenți de 6, 10 sau 25 A, conform STAS 2 000-68.

În această grupă intră întreruptoare, comutatoare, prize, fișe pentru prize etc. În funcție de condițiile mediului unde funcționează, acest aparatăj poate fi construit ca aparatăj normal, etanș, antideflagrănt, rezistent la căldură etc. După modul cum este montat, aparatăjul poate fi prevăzut pentru a fi montat îngropat (sub tencuială), aparent (pe tencuială) sau pe tablou.

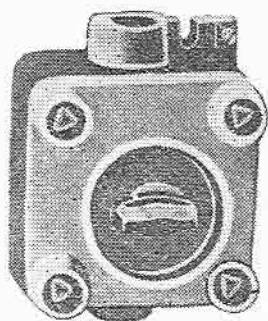


Fig. 12-39. Întreruptor (sau comutator) rotativ pentru 6 A 250 V

(pentru montaj aparent, în execuție antideflagrăntă).

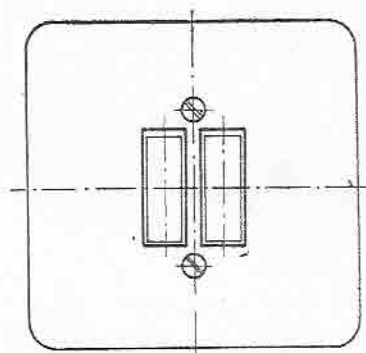


Fig. 12-40. Comutator cumpănă.

În figura 12-39 se arată, ca exemplu, aspectul unui întreruptor sau comutator rotativ (comutatorul are mai multe poziții decît întreruptorul și de aceea poate fi folosit la conectarea pe rînd a mai multor lămpi ale unei încăperi), pentru montaj aparent, în execuție antideflagrăntă.

În afară de tipul de întreruptor rotativ, se folosește și tipul basculant, la care închiderea și deschiderea se fac prin împingerea într-o parte sau în alta (prin bascularea) a unei pîrghii. De asemenea este cunoscut tipul de comutator cumpănă (fig. 12-40).

b. Aparatăj antideflagrănt

Un specific deosebit prezintă de asemenea aparatele în execuție antideflagrăntă, utilizate în locurile cu pericol de explozie.

Aceste aparate sînt construite pentru a putea fi folosite în medii care conțin amestecuri de gaze explozibile, cum sînt: atmosfera minelor grîzutoase, unele secții ale întreprinderilor chimice, textile, petrolifere etc. La o eventuală explozie produsă în interiorul carcaselor, din cauza apariției unui arc electric (produs la deschiderea contactelor), carcasa lor trebuie să reziste la suprapresiunea interioară care ia naștere și — în plus — să

nu transmite explozia în mediul înconjurător din exterior. Pentru aceasta, carcasa lor nu este închisă etanș, însă este astfel construită, încât gazele care năvălesc din interior spre exterior sînt răcite sub temperatura de aprindere a amestecului explozibil*.

Aceste aparate închid într-o carcasă antideflagrantă, un complex de alte aparate ca, de exemplu, un separator, un contactor, siguranțe fuzibile, relee etc. Pe lângă aceasta, diferitele comenzi sînt prevăzute cu o serie de blocaje electrice și mecanice care împiedică efectuarea unor manevre greșite și nu permit deschiderea carcasei decît după ce au fost scoase mai întâi de sub tensiune piesele care la deschiderea carcasei ar putea fi atinse cu mîna.

În felul acesta se evită accidentele de electrocutare și posibilitatea producerii unei explozii (datorită producerii unui arc electric) cînd carcasa este deschisă pentru o revizie periodică de exemplu, chiar în mediul cu pericol de explozie.

Aparatele în execuție antideflagrantă pot fi și ele comandate manual sau automat, prin butoane.

Pentru a exemplifica cele arătate mai sus, în figura 12-41 sînt reprezentate schema electrică și blocajele unui pornitor inversor pentru comanda motoarelor electrice, antideflagrant, cu comanda prin butoane (fabricat în Republica Socialistă România).

Aparatul conține o serie de borne de trecere 1 cu două piese speciale 2, denumite intrări pentru cablul electric de forță și o intrare 3, pentru cablul de semnalizare (intrarea de cablu asigură etanșarea pătrunderii cablului în cutia de borne și fixează cablul astfel încît eforturile mecanice de tracțiune asupra cablului să nu se transmită asupra legăturilor electrice la borne); un separator inversor 4; două relee electrotehnice *RT*; trei relee maxime de curent *RM*; un contactor *C* electromagnetice (de aceea aparatului i se mai spune „pornitor magnetic”); un transformator *T* pentru alimentarea circuitului de comandă și de semnalizare la tensiunea de 24 V. Toate aceste aparate sînt montate pe un panou (separatorul fiind montat în spatele panoului) și împreună sînt închise într-o carcasă antideflagrantă 6, pe care se află butoanele de comandă 1 (închis), *R* (buton pentru revenirea releelor), adică readucerea lor în poziția de funcționare), maneta 5, pentru acționarea manuală a separatorului inversor. Cutia de borne 7 are o intrare de cablu, pentru cablul de alimentare a motorului și o intrare de cablu pentru cablul de comandă de la distanță prin butoanele 1' și 0'. Carcasa este montată pe o sanie pentru a fi ușor transportată și este prevăzută cu un șurub pentru legarea la pămînt.

Schema electrică reprezentată în figura 12-41, *a* este o schemă denumită „schemă desfășurată” pe care diferitele elemente ale unui aparat sînt plasate acolo unde este necesar pentru ca diferitele circuite și funcționarea schemei să reiasă cît mai clar, fără a ține seama de poziția reală a diferitelor organe ale aparatului unul față de altul în cuprinsul aparatului. Pentru a demonstra simplitatea, claritatea, și deci necesitatea unor astfel de scheme la analiza funcționării unei instalații electrice, în figura 12-41, *b* se arată pentru comparație, schema electrică principală de montaj (a aceluiași aparat) care caută să respecte poziția și unitatea constructivă a diferitelor lui elemente componente.

Pentru ca schema desfășurată să fie ușor de interpretat, este absolut necesar să se respecte cu strictețe o notație cît mai clară a elementelor. Astfel, toate elementele care aparțin aceluiași organ vor fi notate cu aceeași literă sau litere, diferențiindu-se prin indici numerici. Astfel, contactorul *C* are bobina de acționare *1C* și bloc-contactele *2C* și *3C*, iar releele *RM* și *RT* au drept contact de lucru contactul (*RM*, *RT*).

Pentru a închide contactorul, se apasă pe butonul 1 sau 1' (în cazul comenzii de la distanță); bobina *1C* a electromagnetului de acționare și contactorului, fiind străbătută de curent, închide contactul; o dată cu închiderea contactorului se închid și bloc-contactele sale *2C* și *3C*; ca urmare, contactorul rămîne închis chiar dacă se ridică degetul

* Vezi capitolul XXII.

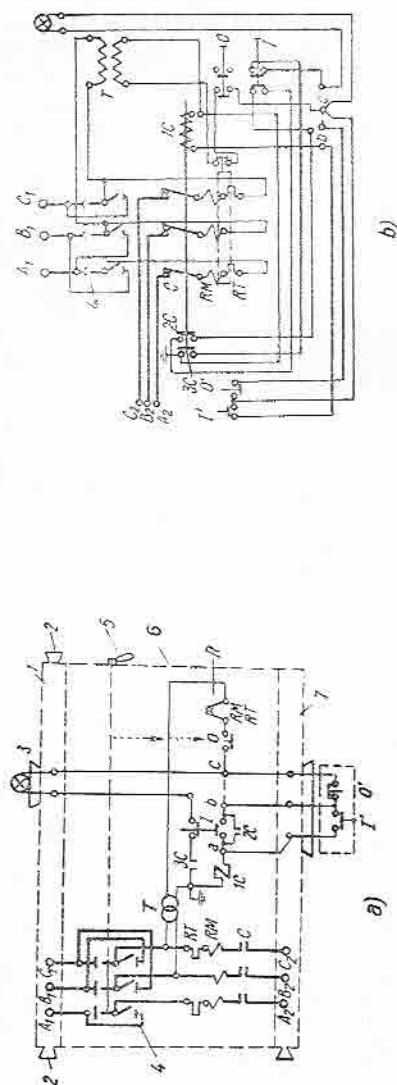


Fig. 12-41. Pornitor inversor, cu comandă prin butoane, antideflagrant :
 a — schema electrică desfășurată ; b — schema principală de montaj.

de pe buton, iar lampa L , aprinzându-se, semnalizează la distanță lângă butoanele I' și O'' închiderea contactorului. Închiderea contactorului se face voit, apăsând pe O sau pe O' . Pentru ca la apăsarea pe butonul O' să se deschidă contactorul, trebuie să se scoată din aparat puntea de legătură bc (fig. 12-41); această punte trebuie montată pentru a putea comanda aparatul atunci când nu se montează butoanele I' și O' .

Deschiderea aparatului se poate face și automat, prin funcționarea releelor RM și RT . În acest caz, pentru a putea reînchide contactorul trebuie să se apese pe butonul R de revenire a releelor.

Aparatul are următoarele blocaje: separatorul nu poate fi manevrat decât dacă se apasă pe butonul O , adică numai după ce se deschide mai întâi contactorul (separatorul nu trebuie manevrat în sarcină).

Capacul carcasei nu poate fi desfăcut decât după ce separatorul este blocat în poziția deschis (o dată capacul desfăcut, separatorul, așa cum s-a arătat, are rolul unui separator de izolare, prin faptul că scoate de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse).

La închiderea carcasei, separatorul poate fi deblocat numai după ce capacul ei a fost închis în poziție corectă.

5. APARATE DE REGLARE

Aparatele cele mai des folosite ca aparate de reglare sînt reostatele care după rolul lor, pot fi: reostate de pornire, reostate de reglare (pentru reglarea tensiunii generatoarelor sau a turației motoarelor) și reostate de pornire și reglare (care asigură, prin aceeași construcție, atât pornirea, cît și reglarea vitezei unui motor). Reostatele sînt construite cel mai frecvent cu rezistențe metalice și, mai rar, cu rezistențe lichide.

Rezistențele metalice se construiesc din sîrmă rotundă sau din panglică de nichelină, constantan etc., răsucită în elice; această sîrmă sau panglică este înfășurată pe un cadru izolat sau pe un cilindru de porțelan.

Rezistențele metalice se construiesc și din fontă (fig. 12-42, *a*), asamblate în cutii de rezistență (fig. 12-42, *b*).

Pentru a forma un reostat, cutiile de rezistență sînt asociate cu un comutator sau un controler, într-o construcție comună. Uneori, mai ales la

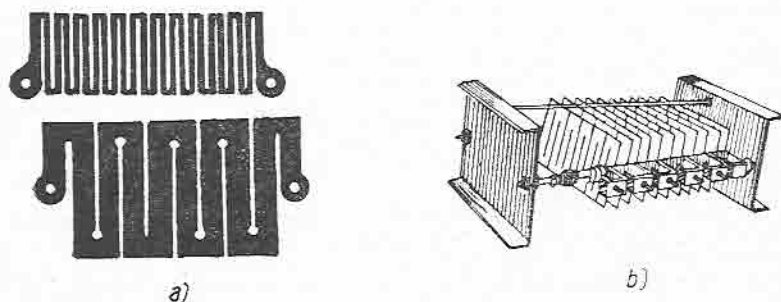


Fig. 12-42. Rezistențe din fontă:

a — elemente de rezistență din fontă; *b* — cutie de rezistență din fontă.

reostatele mari, controlerul este separat de grupul de rezistențe; astfel de situații se întâlnesc la acționarea electrică a sondelor, a mașinilor de extracție și a trolieilor miniere, la tramvaie etc.

În figura 12-43 sînt reprezentate schema electrică a unui reostat de pornire pentru un motor de curent continuu (fig. 12-43, a) și schema unui reostat de pornire pentru un motor asincron trifazat cu inele (fig. 12-43, b).

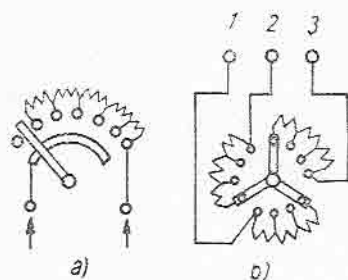
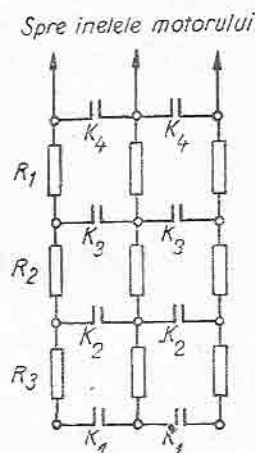


Fig. 12-43. Reostate de pornire:

a — pentru motoare de curent continuu; b — pentru motoare asincrone trifazate cu inele.

Fig. 12-44. Schema variației rezistenței unui reostat, cu ajutorul contactoarelor.



Uneori, în schemele automate, rezistențele reostatelor de reglaj ale motoarelor sînt variate prin scurtcircuitarea diferitelor trepte ale rezistenței reostatului, cu ajutorul contactelor unei stații magnetice, după cum se arată în figura 12-44. Cînd toate contactoarele sînt deschise, circuitul rezistențelor este deschis; prin rezistențe nu poate circula curent electric. Cînd se închide contactorul \$K_1\$, reostatul are pe fiecare fază rezistențele \$R_1, R_2, R_3\$ montate în serie și legate în stea. Cînd se închide contactorul \$K_2\$, se scurtcircuitază rezistența \$R_3\$ și reostatul rămîne pe fiecare fază cu rezistența \$R_1 + R_2\$. Cînd se închide contactorul \$K_3\$, rezistența pe fază se reduce la \$R_1\$, iar cînd se închide contactorul \$K_4\$, reostatul este în întregime scurtcircuitat.

Reostatele de pornire sînt dimensionate de obicei pentru a sta sub curent în timp limitat (cît durată pornirii mașinii). De aceea, în funcționarea normală, ele nu trebuie să rămînă în circuit, deoarece prin încălzire se distrug. Reostatele de reglare rămîn mult timp sub curent și sînt dimensionate special în acest scop.

Reostatele cu rezistență lichidă sînt folosite ca reostate de pornire la motoarele asincrone cu inele și, uneori, ca reostate de sarcină pe care debitează generatoarele electrice în timpul încercărilor pentru verificarea caracteristicilor lor.

Variația rezistenței se obține prin scufundarea a trei electrozi metalici de o formă anumită, într-un rezervor plin cu un lichid. Lichidul folosit este apa sau o soluție de carbonat de sodiu (sodă) în apă.

Electrozii pot fi scufundați într-un rezervor comun sau fiecare electrod într-un rezervor individual. La sfîrșitul cursei de scufundare (cînd rezistența are valoarea minimă), cei trei electrozi sînt scurtcircuitați între ei prin niște contacte.

La alte construcții, electrozii sînt fișii, iar variația rezistenței se obține prin ridicarea sau coborîrea rezervorului cu lichid sau prin variația nivelului lichidului în rezervor. Reostatele cu lichid sînt ieftine, simple, iar la puteri mari au dimensiuni reduse în comparație cu reostatele metalice; ele au însă dezavantajul că în funcționare produc vapori de apă și necesită o întreținere mai atentă.

6. CUTII DE DISTRIBUȚIE

Prin punct sau post de distribuție se înțelege o instalație care primește energie electrică de la centrala electrică sau de la o rețea de distribuție și o distribuie la aceeași tensiune diferitelor receptoare; în consecință, la punctul de distribuție sau postul de distribuție sosesc una sau mai multe linii prin care este adusă energia electrică, numite linii de intrare sau intrări și pleacă mai multe linii, numite plecări, prin care se distribuie energia diferitelor receptoare (fig. 12-45).

Legătura electrică între intrare și plecări se face cu ajutorul unor conductoare de cupru sau aluminiu, numite bare colectoare. La aceste bare sînt legate atît intrările, cît și plecările.

Pe fiecare intrare și plecare sînt montate:

— aparate de conectare (întreruptoare, separatoare), care permit punerea sau scoaterea instalațiilor de sub tensiune;

— aparate de protecție;

— aparate de măsurat (voltmetre, ampermetre, wattmetre, contoare).

Bineînțeles, în funcție de importanța intrării sau a plecării respective, o parte din aparatajul amintit mai sus poate lipsi.

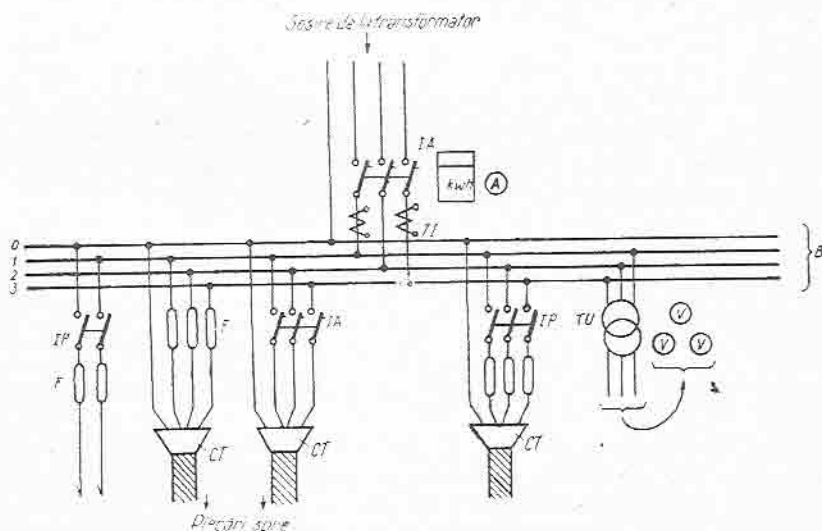


Fig. 12-45. Schema de principiu a unui tablou de distribuție:

IA — întreruptor automat; IP — întreruptor cu pîrghie; F — siguranță fuzibilă; CT — cutie terminală de cablu; TU — transformator de tensiune; TI — transformator de curent; V — voltmetre; kWh — contor de energie activă; B — bare colectoare.

La puteri mai mici, aparatajul unui punct de distribuție se montează pe panouri, numite tablouri de distribuție, cum sînt, de exemplu, tablourile de distribuție în clădirile de locuit.

În întreprinderile industriale sau în spațiile în care există praf, umezeală, gaze explozibile, aparatajul punctelor de distribuție trebuie să fie închis

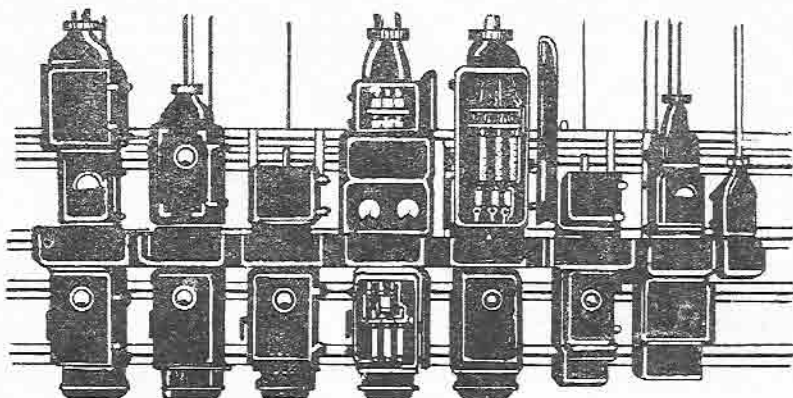


Fig. 12-46. Tablou capsulat de joasă tensiune.

în cutii cu construcție capsulată (etanșă) sau antideflagrantă, numite cutii de distribuție (sau de conexiune).

În funcție de aparatele conținute, cutiile de distribuție pot fi cutii cu bare colectoare, cutii cu siguranțe, cutii cu întreruptoare (cu pîrghii sau automate — în aer sau în ulei), cutii cu aparate de măsurat, cutii terminale de cablu etc. Aceste cutii se pot îmbina între ele, realizîndu-se în mod simplu și repede tablouri de distribuție de joasă tensiune în construcție capsulată (fig. 12-46) sau în construcție antideflagrantă.

7. CELULE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Celulele de înaltă tensiune se folosesc la construcția instalațiilor de distribuție de înaltă tensiune, pentru a realiza diferitele circuite de sosire și de plecare a energiei electrice, din stațiile și posturile de transformare. Celulele cuprind într-o construcție prefabricată din oțel, aparatajul de conectare, de protecție și de măsurat, necesar pe o plecare sau pe o sosire. Uneori transformatoarele de tensiune pentru alimentarea aparatelor de măsurat și de protecție sînt montate într-o celulă specială, numită celula de măsurare.

De asemenea celulele mai pot fi folosite și la comanda și protecția receptorilor de înaltă tensiune cum sînt, de exemplu, motorul pentru acționarea unui compresor sau a unei pompe.

În trecut, celulele se zideau întii și se echipau apoi cu utilajul necesar; astăzi se folosesc pe scară foarte largă celulele de înaltă tensiune prefabricate. În figura 12-47, *a* este reprezentată o secțiune schematică a celulei de înaltă tensiune de 6 kV (CITUC-6) fabricată în țara noastră; în figura 12-47, *b* se arată schema electrică a aceleiași celule.

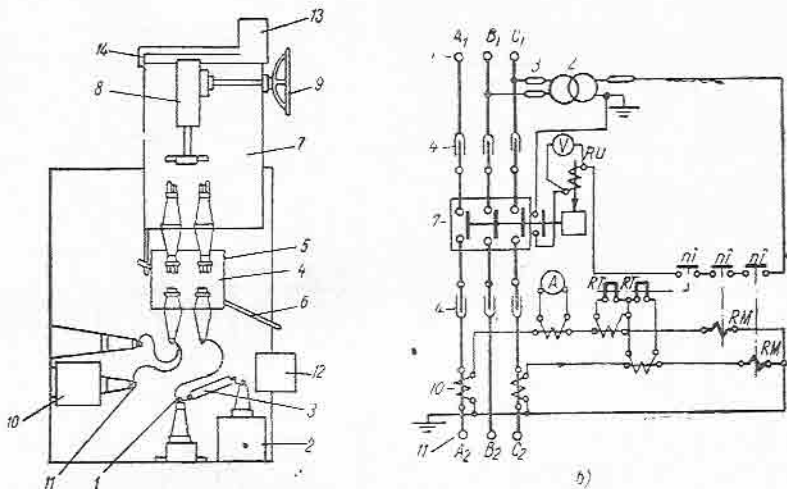


Fig. 12-47. Celulă de înaltă tensiune pentru 6 kV, prefabricat CITUC-6:

a — secțiune schematică; *b* — schema electrică.

Celula CITUC-6 cuprinde: bornele de intrare 1; transformatorul de tensiune 2, pentru alimentarea releului de tensiune minimă *RU*; siguranța tubulară de înaltă tensiune 3, pentru protecția transformatorului de tensiune; separatorul în ulei 4, care se manevrează ridicînd sau coborînd cuva de ulei 5, cu ajutorul pîrghiei 6; întreruptorul cu ulei mult 7, acționat prin dispozitivul 8 și volanul 9; transformatoarele de curent 10, pentru alimentarea releelor maxime de curent *RM* (cu acționare instantanee), a releelor termice *RT* și a ampermetrului *A*; releele sînt așezate în carcasa 12, iar ampermetrul în carcasa 13; ieșirea din celulă se face prin bornele 11, gazele produse de funcționarea întreruptorului sînt evacuate prin deschiderea 14.

Între separator, întreruptor și ușa celulei există blocaje de felul celor amintite la pornitorul antideflagrant.

Celula CITUC-6 s-a construit pentru exploatarea petrolifere, pentru curenți pînă la 350 A. Puterea de rupere a întreruptorului este de 42 MVA la 6 kV și de 21 MVA la 3 kV. Ea se folosește la comanda și protecția motoarelor de înaltă tensiune sau ca celulă de intrare la un post de transformare

cu un singur transformator. Construcția ei nu este antideflagrantă, ci cu siguranță mărită, adică nu produce scintei în funcționare normală, are izolație de calitate mai bună, încălzirile de regim sînt mai mici decît la aparatele obișnuite etc.

În figura 12-48 este reprezentată secțiunea schematică a unei celule CPIT-6, folosite pentru instalații exterioare obișnuite.

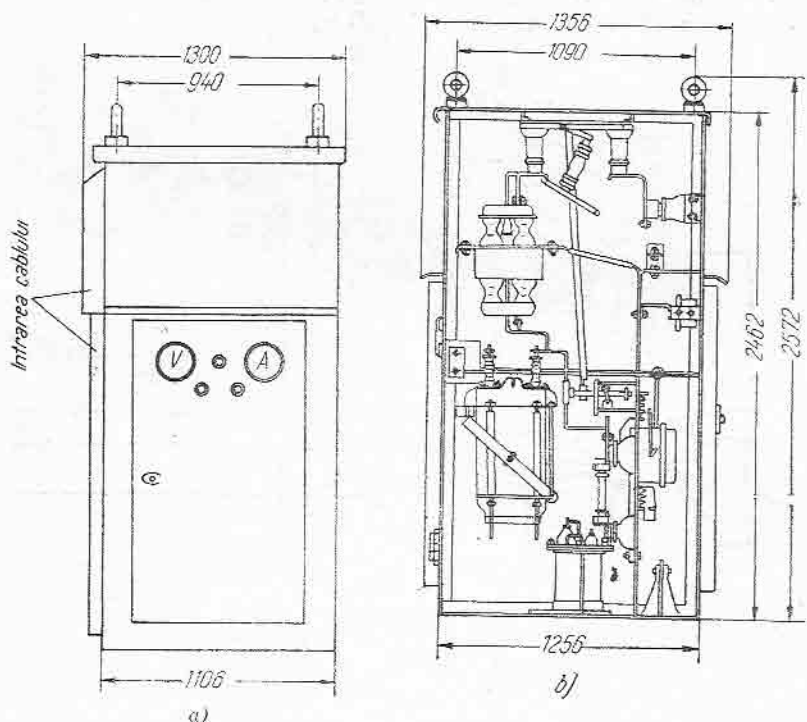


Fig. 12-48. Celulă prefabricată, pentru 6 kV (secțiune schematică), CPIT-6 pentru instalații electrice exterioare.

În cazul circuitelor mai puțin importante și de putere mai mică, construcția celulei este simplificată; alteori celula este construită special ca celulă pentru măsurarea tensiunii (în acest caz, în ea se montează transformatoarele de măsurat, de tensiune).

Într-o instalație de distribuție cu mai multe celule, celulele sînt legate între ele prin intermediul barelor colectoare care sînt comune.

În mod asemănător, se folosesc uneori celule prefabricate și la instalațiile de distribuție de joasă tensiune, pentru tablourile de distribuție, pentru comanda și protecția generatoarelor microcentralelor sau pentru comanda și protecția motoarelor de putere mare.

8. APARATE PENTRU LIMITAREA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

Ca aparate pentru limitarea curenților sînt folosite reactoarele (bobi-nele de reactanță), Reactorul trifazat este alcătuit din trei bobine fără miez de fier, fixate pe izolatoare suport. Ele au o rezistență activă neglijabilă în comparație cu reactanța lor inductivă. Fiind montate în serie pe o rețea trifazată, ele măresc reactanța liniei și, prin aceasta, micșorează curenții de scurtcircuit; ca urmare, în instalația respectivă se poate folosi un aparataj mai ieftin și mai simplu, calculat pentru curenți de scurtcircuit mai mici. În felul acesta se pot realiza economii importante în investițiile pentru întreprinderi, cablu, bare, colectoare etc.; în același timp, siguranța în exploatare crește.

Rezistența activă a bobinelor reactorului fiind neglijabilă, reactorul nu absoarbe putere activă în funcționare.

9. MONTARE, EXPLOATARE, ÎNTREȚINERE

La montarea, exploatarea și întreținerea diferitelor aparate trebuie să se țină seama de instrucțiunile fabricilor constructoare, de normele și de regulamentele în vigoare. Ca reguli generale pot fi enunțate următoarele:

- aparatele trebuie transportate totdeauna cu grijă, evitîndu-se trîntirea și zădărnicierea lor; păstrarea aparatelor trebuie să se asigure în locuri uscate și bine acoperite;

- la montarea unui aparat trebuie să se respecte poziția normală de funcționare a aparatului, iar conexiunile să se efectueze corect, conform schemei electrice.

Orice aparat trebuie să fie supus la o serie de verificări pentru a preveni posibilitatea unei utilizări sau a unei funcționări necorespunzătoare: astfel se verifică dacă datele de pe plăcuța indicatoare a aparatului corespund cu caracteristicile mașinii sau ale locului unde va fi montat; se constată prezența tuturor elementelor aparatului (contacte, relee, siguranțe, punți de legătură, bloc-contacte, șuruburi pentru borne, camere de stingere a arcului etc.) și starea lor de bună funcționare (dacă este necesar, acestea se curăță și se reglează corespunzător).

Se măsoară rezistența de izolație, care trebuie să fie superioară sau cel puțin egală cu limitele inferioare indicate în norme ($0,25 \dots 0,5 \text{ M}\Omega$ — după specificul instalației); la aparatele cu ulei, se verifică rigiditatea dielectrică a uleiului, care trebuie să fie de cel puțin 125 kV/cm la 40°C ;

— în exploatare, aparatele trebuie manevrate cu grijă, conform instrucțiunilor, evitându-se suprasolicitarea lor;

— pentru a garanta o bună funcționare în timp și a înlătura posibilitatea apariției pe neașteptate a unor defecte, urmate de opriri ale instalației și de timpi morți în producție, trebuie să se efectueze periodic o revizie și o întreținere preventivă a aparatelor, conform instrucțiunilor specifice locului de utilizare a aparatului; în general, cu această ocazie se verifică uzura și starea suprafeței contactelor; dacă pe suprafața contactelor au apărut broboane mici de metal (contactele s-au perlat), ele se curăță și se rectifică cu ajutorul unei pile. Nu se admite curățirea contactelor cu hirtie abrazivă și nici ungerea lor cu vaselină (particulele de abraziv care rămân pe contacte și vaselina arsă din cauza arcului electric măresc rezistența de trecere a contactelor până la 10—20 de ori, ceea ce poate duce la încălziri anormale ale contactelor în funcționare).

Se verifică întrefierul electromagneților (mărimea lui, curățenia suprafețelor); se constată dacă spirele în scurtcircuit, montate pe o parte din secțiunea polilor electromagneților, sînt întregi și la locul lor. Se verifică camerele de stingere a arcului. Se verifică reglajul releelor. Se verifică dacă șuruburile aparatului sînt strînse. Se constată funcționarea ușoară, din punct de vedere mecanic, a pieselor în mișcare și, în cazul aparatelor de conectare, se verifică închiderea simultană a contactelor principale.

Perioadele la care trebuie să fie făcute reviziile preventive ale aparatelor și echipamentului diferitelor instalații sînt arătate orientativ în tabela 12—4.

Tabela 12-4

Periodicitatea reviziilor preventive ale aparatelor diferitelor instalații electrice

Denumirea aparatelor și instalațiilor la care sînt montate	Numărul manevrelor	Intervalul de timp dintre revizii
Reostate de pornire	2—3 pe zi	6 luni
Reostate de pornire și reglare	20 pe zi	1 lună
Reostate de excitație	8—10 pe oră	1 lună
Compresoare }		
Ferăstraie }	3—4 pe oră	1 săptămînă
Pompe centrifuge pentru hidrofoare etc.	20 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru locuințe	12 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru mărfuri	6 pe oră	2 săptămîni
Ascensoare pentru instituții	60 pe oră	3 zile
Macarale și poduri rulante (lucrînd cu un schimb pe zi)	60—120 pe oră	3 zile
Macarale și poduri rulante (lucrînd cu trei schimburi pe zi)	60—120 pe oră	1 zi
Utilaj pentru foraj petrolifer	20—40 pe oră	1 zi
Mașini de extracție și trolii miniere	15—20 pe oră	1 zi
Mașini de încărcat în cuptoare Martin (oțelării)	60—120 pe oră	1 zi

CAPITOLUL XIII

TRANSFORMATOARE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL TRANSFORMATORULUI ELECTRIC

Se consideră un miez de oțel moale avînd forma reprezentată în figura 13-1, secțiunea miezului fiind, de exemplu, dreptunghiulară. Se presupune că pe ramura din stînga a miezului există un bobinaj cu N_1 spire din sîrmă izolată, iar pe ramura din dreapta, un alt bobinaj cu N_2 spire.

Dacă între bornele A_1 și B_1 ale bobinajului din stînga se aplică o tensiune alternativă de valoare instantanee u_1 , bobinajul va fi parcurs de un curent alternativ de valoare instantanee i_1 . Curentul i_1 produce în miezul de oțel un flux magnetic alternativ, a cărui valoare instantanee este dată de legea circuitului magnetic:

$$\Phi_1 = \frac{N_1 i_1}{\mathcal{R}}$$

în care \mathcal{R} este reluctanța circuitului magnetic. Acest flux magnetic alternativ, străbătînd bobinajul din dreapta, va produce în el, pe baza fenomenului de inducție electromagnetică, o forță electromotoare de inducție, alternativă. Dacă bobinajul din dreapta este închis, în circuitul lui va lua naștere un curent alternativ de valoare instantanee i_2 . Curentul alternativ i_2 produce în miezul de oțel un flux alternativ, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi_2 = \frac{N_2 i_2}{\mathcal{R}}$$

În miez va exista deci în realitate un flux magnetic alternativ rezultat, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{N_1 i_1 + N_2 i_2}{\mathcal{R}}$$

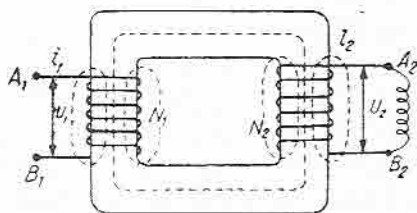


Fig. 13-1. Transformatorul reprezentat schematic.

Fiecare spiră a bobinajului din stînga și din dreapta este, așadar, străbătută de fluxul magnetic alternativ Φ . Acesta, fiind variabil în timp, va produce în fiecare spiră din cele două bobinaje cîte o forță electromotoare de inducție e .

În toate cele N_1 spire ale bobinajului din stînga, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de N_1 ori mai mare, adică :

$$e_1 = N_1 e.$$

În toate cele N_2 spire ale bobinajului din dreapta, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de N_2 ori mai mare, adică :

$$e_2 = N_2 e.$$

Raportul dintre cele două forțe electromotoare este :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1 e}{N_2 e} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Între tensiunea u_1 la bornele bobinajului din stînga și forța electromotoare e_1 din acest bobinaj și între u_2 și e_2 din bobinajul din dreapta există o diferență datorită căderii de tensiune în bobinaje.

Deoarece cele două căderi de tensiune sînt foarte mici față de forțele electromotoare e_1 și e_2 , se poate considera că raportul dintre forțele electromotoare e_1 și e_2 este practic egal cu raportul dintre tensiunile u_1 și u_2 , adică :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{u_1}{u_2}.$$

Rezultă atunci că se poate scrie :

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (13.1)$$

Deoarece u_1 și u_2 sînt valorile instantanee, ultima relație este valabilă și pentru valorile maxime U_{m1} și U_{m2} și pentru valorile eficace U_1 și U_2 ale celor două tensiuni :

$$\frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K,$$

adică raportul dintre valorile eficace ale tensiunilor este egal cu raportul direct al numărului de spire din cele două bobinaje.

Aparatul din figura 13-1 poartă numele de *transformator electric*. Scopul principal al unui transformator electric este de a primi energie electrică (în curent alternativ) sub o anumită tensiune și de a o transforma sub o altă

tensiune. Raportul N_1/N_2 poartă numele de *raport de transformare* al transformatorului. Circuitul care primește energia electrică se numește circuit *primar* (sau inductor), iar circuitul care dă mai departe energia electrică se numește circuit *secundar* (sau indus).

Se notează cu I_1 și I_2 valorile eficace ale curenților i_1 și i_2 , de asemenea cu φ_1 și φ_2 unghiurile de defazaj formate de curenții I_1 și I_2 cu tensiunile respective U_1 și U_2 .

Puterea electrică primită de transformator de la sursă este deci :

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

iar puterea electrică, dată de transformator, mai departe este :

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Deoarece pierderile de putere în transformator sînt neglijabile față de puterea primită, se poate face practic aproximația :

$$P_1 = P_2,$$

adică :

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

De asemenea, în mod practic, pentru un transformator se poate considera :

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2.$$

Rezultă :

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

adică :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (13.3)$$

Aceasta arată că *raportul dintre curenții primar și cel secundar este egal cu inversul raportului de transformare*.

Cînd circuitul secundar este deschis, adică nu există nici un consumator între bornele A_2 și B_2 (fig. 13-1), se spune că transformatorul funcționează în gol. În acest caz, curenții secundari I_2 este nul. Totuși, în primar trece un curent I_0 de valoare redusă, numit *curent de mers în gol* și care reprezintă numai cîteva procente din curenții de plină sarcină al transformatorului. Faptul că în bobinajul primar trece curenții I_0 de mers în gol, înseamnă că transformatorul absoarbe și la funcționarea în gol o mică putere. Această putere servește la acoperirea pierderilor de mers în gol, care sînt constituite, în cea mai mare parte, din pierderile prin histerezis, provocate de magnetizarea miezului de oțel. Pierderile de mers în gol, numite și *pierderi de magnetizare*, cuprind însă și pierderi prin curenți turbionari în miezul de oțel, precum și

pierderile prin efect Joule-Lenz în circuitul primar. Pierderile prin histerezis și prin curenți turbionari în oțel se numesc și *pierderi în oțel*. Aceste pierderi în oțel sînt practic constante într-un transformator pentru o tensiune dată, adică au aceeași valoare, chiar dacă transformatorul funcționează în sarcină (cînd există curent secundar). Pierderile prin efect Joule-Lenz în primar și secundar poartă numele de *pierderi în bobinaje* și sînt cu atît mai mari, cu cît sarcina transformatorului (adică curentul secundar și primar) este mai mare, deoarece sînt proporționale cu pătratul curentului (RI^2).

Rezultă că puterea primită de bobinajul primar P_1 nu este egală cu cea redată de secundar P_2 . O mică parte din puterea primită se consumă prin pierderile ce au loc în transformator.

Raportul :

$$\frac{P_2}{P_1} = \eta \quad (13.4)$$

(η este o literă grecească care se citește „eta“) se numește *randamentul* transformatorului. Un transformator industrial are, în general, un randament aproape egal cu unitatea (0,96 de exemplu).

2. UTILIZAREA TRANSFORMATOARELOR

În industrie apare de multe ori necesitatea ca energia electrică produsă într-un anumit loc să fie transportată într-alt loc. Acest transport de energie se face cu unele pierderi, provocate mai ales de efectul Joule-Lenz în conductoarele liniei de transport. Se caută ca aceste pierderi să fie cît mai mici.

Dacă se micșorează curentul, pierderile Joule-Lenz scad mult. Pentru ca energia electrică transportată

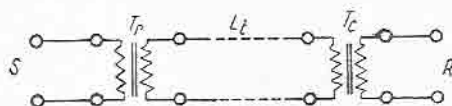
$$W = U \cdot I \cos \varphi \cdot t,$$

să rămînă constantă se vede că se poate reduce curentul I dacă se mărește tensiunea U în aceeași proporție. De aici reiese necesitatea de a ridica valoarea tensiunii cu ajutorul transformatoarelor, micșorînd în felul acesta atît curentul, cît și pierderile.

Energia electrică nu poate fi însă în general utilizată de către receptoare la tensiunea înaltă la care a fost transportată; tensiunea trebuie să fie deci din nou coborîtă cu un alt transformator la capătul celălalt al liniei de transport.

În figura 13-2 se arată în mod schematic cum se realizează un transport de energie electrică printr-o linie monofazată de exemplu. Sursa S de curent alternativ produce această energie la tensiune joasă. Transformatorul *ridicător* T_r mărește această tensiune la valoarea necesară liniei de transport. La locul de utilizare transformatorul *coborîtor* T_c micșorează tensiunea la valoarea necesară receptorului R .

Fig. 13-2. Utilizarea transformatoarelor la transportul energiei electrice.



Transformatoarele nu pot funcționa decît în curent alternativ. Curentul continuu nu poate produce în miezul transformatorului un flux magnetic variabil, necesar funcționării transformatorului.

3. CONSTRUCȚIA TRANSFORMATOARELOR

Este economic să se producă fluxul magnetic din miezul transformatorului cu o forță magnetomotoare cît mai mică. În consecință, reluctanța magnetică a circuitului magnetic trebuie să fie cît mai redusă. De aceea, miezul transformatorului se confecționează din oțel cu o mare permeabilitate magnetică. În scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari în oțel miezul se realizează din tole cît mai subțiri și izolate între ele. Pentru a se reduce și pierderile prin histerezis, tolele se fabrică dintr-un oțel silicios special.

Circuitele primare și secundare ale transformatoarelor sînt constituite din bobine cu conductoare izolate, din cupru, sau aluminiu, montate în jurul miezului de oțel. Dacă bobinele s-ar monta ca în figura 13-1 nu toate liniile magnetice produse de primar ar trece și prin secundar; de asemenea nu toate liniile magnetice produse de secundar ar trece și prin primar. O parte din aceste linii s-ar închide direct prin aer, constituind așa numitul *flux de dispersie*. Pentru a se evita aceasta, se utilizează, de exemplu, dispoziția din figura 13-3, unde bobinele secundare s alternează cu bobinele primare p .

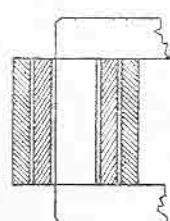
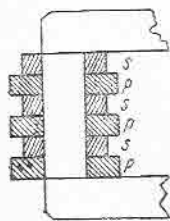


Fig. 13-3. Transformator cu bobinaje alternative.

Fig. 13-4. Transformator cu bobinaje coaxiale.

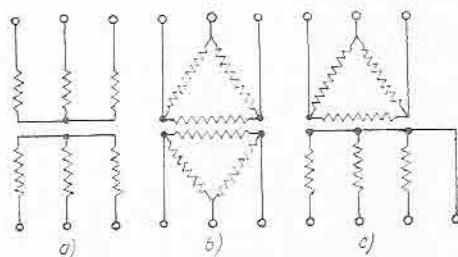


Fig. 13-5. Diferite conexiuni ale bobinelor transformatoarelor.

O altă dispoziție este reprezentată în figura 13-4, unde cele două bobinaje sînt coaxiale, și anume circuitul de tensiune mai mare înconjură circuitul de tensiune mai mică.

În cazul generatoarelor și liniilor trifazate, transformatoarele trebuie să fie de asemenea trifazate, avînd trei bobinaje primare și trei bobinaje secundare. Circuitul magnetic al unui transformator trifazat are de obicei trei miezuri de oțel legate la partea superioară și inferioară prin cîte un jug de oțel. Pe fiecare din cele trei miezuri se găsesc bobinajele transformatorului. Acestea se pot lega fie în stea, fie în triunghi, putîndu-se obține diferite combinații. În figura 13-5 sînt reprezentate principal conexiunile electrice ale primarului și secundarului care se întîlnesc mai des la transformatoarele trifazate. Figura 13-5, *a* reprezintă conexiunea stea-stea, figura 13-5, *b* conexiunea triunghi-triunghi, iar figura 13-5, *c* conexiunea triunghi-stea. De multe ori, bobinajul cu conexiune stea, dacă este pe joasă tensiune, are și conductor neutru. De exemplu, un transformator trifazat care trebuie să coboare tensiunea unei linii trifazate de 6 000 V, la tensiunea joasă de 400/231 V pentru alimentarea unei rețele de distribuție, se realizează de obicei cu bobinajul primar 6 000 V legat în triunghi și cu cel secundar legat în stea cu conductor neutru (figura 13-5, *c*). Pe joasă tensiune, între două conductoare de fază, tensiunea va fi de 400 V, iar între un conductor de fază și conductorul neutru, de 231 V.

În tabela 13-1 sînt date conexiunile și domeniul de utilizare a transformatoarelor trifazate, după STAS 1703-67. La conexiunile din tabelă $Yz-11$ și $Yz-5$ se utilizează, pentru joasă tensiune, conexiunea numită *zigzag*, cu schema arătată în tabelă.

Pentru a se putea obține, la același transformator, raporturi de transformare diferite, se prevăd *prize suplimentare*, după cum se arată în figura 13-6, unde s-a reprezentat circuitul primar sau secundar al unui astfel de transformator. Fiecare fază are cîte trei prize. Fiecărei prize îi corespunde un anumit număr de spire. Față de priza mijlocie, raportul de transformare se poate schimba cu cîteva procente în plus sau în minus, de exemplu $\pm 4\%$, prin legarea la prizele extreme. De obicei, pentru a se schimba legăturile de la o priză la alta, transformatorul trebuie scos de sub sarcină (întreruperea circuitului secundar). Există însă și transformatoare, prevăzute cu dispozitive speciale, care permit schimbarea raportului de transformare sub sarcină.

Miezul transformatorului și bobinajele sînt cufundate într-o cuvă metalică, plină cu ulei de transformator (fig. 13-7). În exteriorul cuvei se găsesc o serie de

Tabela 13-1

Grupe de conexiuni ale transformatoarelor trifazate și domeniul de utilizare (după STAS 1703-60)

Simbol	Diagrama vectorială		Schema de conexiuni		Domeniul de utilizare
	Tensiune		Tensiune		
	înaltă	joasă	înaltă	joasă	
Yy—12					Transformatoare coboritoare pentru distribuție de forță Transf. ridic.
Dy—11					Transformatoare coboritoare pentru distribuție de iluminat. Firul neutru se poate încărcă 100%.
Yd—11					Transformatoare ridicătoare pentru centrale și stații
Yz—11					Același ca la Dy—11 numai pînă la 100 kVA
Dy—5					Același ca la D—11
Yd—5					Același ca la Yd—11
Yz—5					Același ca la Yz—11

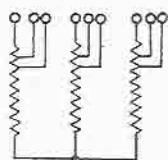


Fig. 13-6. Bobinaj de transformator cu prize suplimentare.

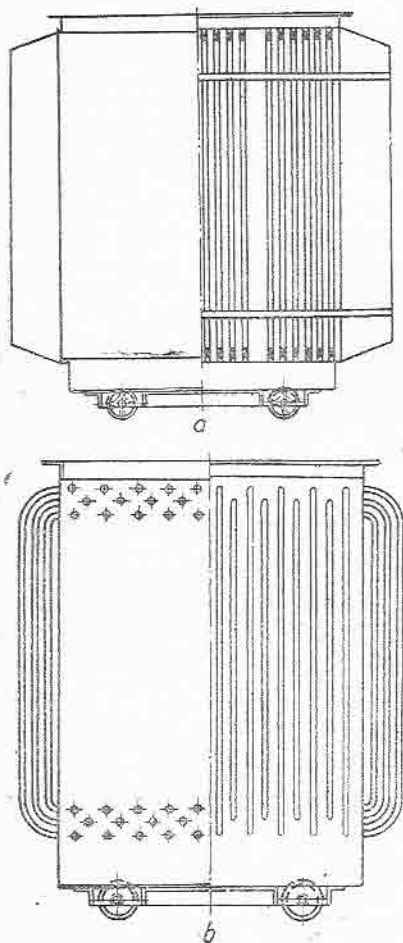


Fig. 13-7. Transformator cu răcire naturală în ulei

țevi care leagă partea superioară cu partea inferioară a cuvei. În timpul funcționării, transformatorul se încălzește, deoarece energia care se pierde prin efectul Joule-Lenz prin curenți turbionari și prin histerezis se transformă în căldură. Uleiul cald din cuvă, fiind mai ușor, se ridică la partea superioară, trece prin țevi, unde se răcește, și apoi ajunge la partea inferioară a cuvei, de unde se ridică iarăși ș.a.m.d. Astfel uleiul este în continuă circulație, ceea ce activează mult răcirea.

Uneori cuva este ondulată, pentru a mări suprafața de contact cu exteriorul și pentru a intensifica astfel răcirea.

Deasupra cuvei se montează de multe ori un rezervor cilindric numit și *conservator de ulei*, în legătură cu cuva (fig. 13-8). Acesta permite cuvei să fie totdeauna plină cu ulei chiar și atunci când nivelul uleiului variază din cauza dilatărilor care depind de sarcina transformatorului. Rezervorul permite de asemenea ca suprafața de contact dintre ulei și aer să fie mai redusă, ceea ce evită o alterare prea rapidă a uleiului.

Pe țeava care leagă conservatorul de ulei cu cuva transformatorului se montează uneori un *releu de gaze* (Buchholz). Când se produce o suprasarcină a transformatorului, din cauza încălzirii uleiului, în acesta se produc gaze. În interiorul releului, care este plin cu ulei, se găsesc niște plutitoare; acestea, sub acțiunea gazelor, se deplasează, acționând un circuit electric de alarmă (sonerie, de exemplu), iar dacă suprasarcina corespunde unui scurt-circuit, deplasarea violentă a uleiului determină mișcarea unui alt flotor ce acționează un circuit, care face să declanșeze întreruptorul circuitului de alimentare a transformatorului,

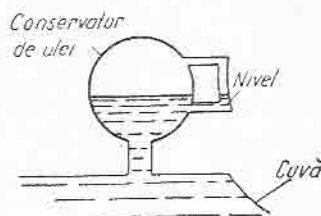


Fig. 13-8. Conservator de ulei.

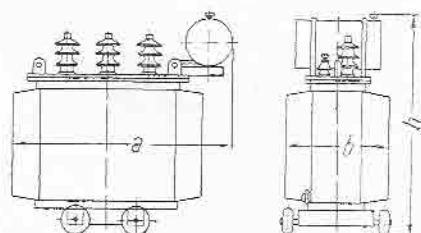


Fig. 13-9. Gabaritul unui transformator trifazat în baie de ulei, de 100 kVA, 6 000 V:

$a = 1\,250\text{ mm}$; $b = 650\text{ mm}$; $h = 1\,800\text{ mm}$.

În Republica Socialistă România se construiesc multe tipuri de transformatoare. Figura 13-9 reprezintă, de exemplu, un asemenea transformator trifazat, în baie de ulei, cu puterea de 100 kVA și pentru tensiuni pînă la 6 000 V.

4. TENSIUNEA DE SCURT-CIRCUIT ȘI MERSUL ÎN PARALEL AL TRANSFORMATOARELOR

Se presupune că secundarul unui transformator este legat în scurtcircuit printr-un ampermetru și se aplică primarului o tensiune astfel încît curentul din secundar să capete valoarea lui nominală de plină sarcină. Tensiunea la bornele secundarului este practic nulă, dat fiind că rezistența ampermetrului este foarte mică. Tensiunea aplicată în condițiile arătate la bornele primarului poartă numele de *tensiune de scurtcircuit* (U_{sc}). Aceasta este una dintre caracteristicile importante ale transformatorului, în special pentru faptul că are un rol deosebit la *mersul în paralel* al transformatoarelor, după cum se va arăta mai departe. Valoarea tensiunii de scurtcircuit a unui transformator reprezintă de obicei cîteva procente din tensiunea nominală a bobinajului respectiv.

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel, atunci cînd sînt legate la aceleași bare colectoare de curent, atît pe partea primară, cît și pe partea secundară, după cum se arată în figura 13-10. Sursa S de curent alternativ alimentează barele colectoare B_1 , la care sînt legate cele două transformatoare T_1 și T_2 . Barele secundare B_2 alimentează, la rîndul lor, un receptor oarecare R .

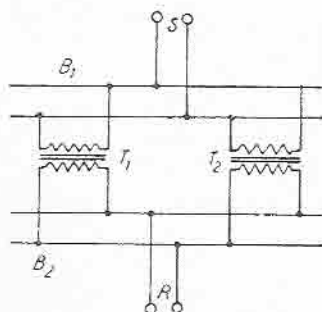


Fig. 13-10. Două transformatoare în paralel.

Pentru ca mai multe transformatoare să poată funcționa în paralel în bune condiții trebuie să îndeplinească o serie de prescripții, dintre care cele mai importante sînt:

- să aibă aceeași tensiune primară și secundară;
- să aibă aceeași tensiune de scurtcircuit;
- să aibă aceeași grupă de conexiuni;
- raportul dintre puterile a două transformatoare oarecare să nu fie mai mic decît 1/3.

5. AUTOTRANSFORMATORUL

La unele transformatoare, primarul nu este separat electric de secundar, deși ambele bobinaje sînt așezate pe același miez de oțel, care formează un cadru închis. Aceste două bobinaje se găsesc legate în continuare, după cum se arată în figura 13-11, unde primarul este constituit dintr-o parte din spirele secundarului. Un asemenea transformator poartă numele de *autotransformator*, și poate fi ridicător, sau coborîtor.

Dacă se notează cu N_1 numărul de spire primare (între b și c) și cu N_2 numărul de spire secundare (între a și c), se poate scrie cu suficientă aproximație :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K = \frac{I_2}{I_1},$$

în care K este raportul de transformare al transformatorului I_1 și I_2 — valorile eficace ale curentului în primar și secundar, iar U_1 și U_2 , — valorile eficace ale tensiunii la bornele primarului și secundarului.

Din figura 13-11 se vede că curentul I_c din porțiunea comună a bobinajului rezultă din diferența dintre curentul primar I_1 și curentul secundar I_2 . Cînd curenții I_1 și I_2 au valori apropiate (raport de transformare apropiat de unitate), curentul I_c din porțiunea comună are o valoare mică, ceea ce permite să se facă economie de metal la bobinajul respectiv, prin micșorarea secțiunii sale. Din această cauză, autotransformatoarele se construiesc în

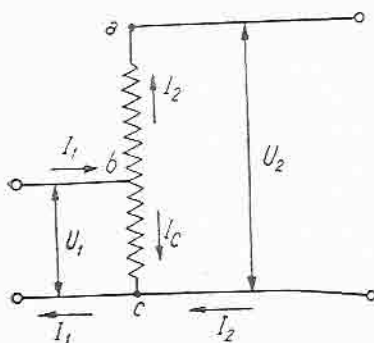


Fig. 13-11. Autotransformator.

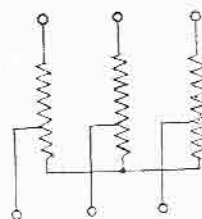


Fig. 13-12. Autotransformator trifazat.

general pentru un raport de transformare care variază între 0,5 și 2, astfel încât se realizează o importantă economie de material față de transformatoarele obișnuite.

Figura 13-12 reprezintă schema electrică a unui autotransformator trifazat.

6. TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ

Aparatele de măsurat destinate să măsoare diferite mărimi electrice (curent, tensiune, putere etc.) la o rețea de înaltă tensiune, se leagă la această rețea prin intermediul unor *transformatoare de măsură*, care permit ca aparatele de măsurat să funcționeze pe joasă tensiune, primarul fiind legat la rețeaua de înaltă tensiune.

În figura 13-13 se arată legarea unui ampermetru la o rețea de înaltă tensiune, prin intermediul unui transformator de măsură T , care se numește *transformator sau reductor de curent*. Aceste transformatoare se construiesc în mod normal astfel, încât la curentul nominal din primar să corespundă un curent de 5 A în secundar, scara ampermetrului fiind însă gradată pentru curentul din primar.

Chiar în cazul unei rețele de joasă tensiune, dacă valoarea curentului în această rețea este foarte mare, de exemplu 500 A, se poate utiliza totuși un ampermetru de numai 5 A, dacă se utilizează un transformator de curent 500/5 A, iar scara ampermetrului se gradează 0...500 A.

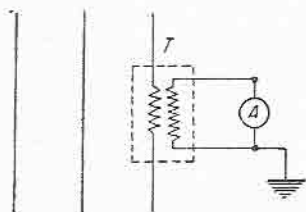


Fig. 13-13. Legarea unui ampermetru cu transformator de curent.

În figura 13-14, *a* este reprezentată legarea unui voltmetru la o rețea monofazăată de înaltă tensiune, prin intermediul unui *transformator sau reductor de tensiune* monofazat T . În figura 13-14, *b* este reprezentat un transformator de tensiune trifazat T , iar în figura 13-14, *c*, două transformatoare de tensiune monofazate T montate în V și legate de asemenea la o rețea tri-

fazăată pentru alimentarea a trei voltmetre. Transformatoarele de tensiune sînt în mod normal astfel construite, încît atunci cînd se aplică primarului tensiunea nominală, la bornele secundarului tensiunea să fie de 100 V, scara aparatelor gradîndu-se însă după valorile tensiunii primare de măsurat.

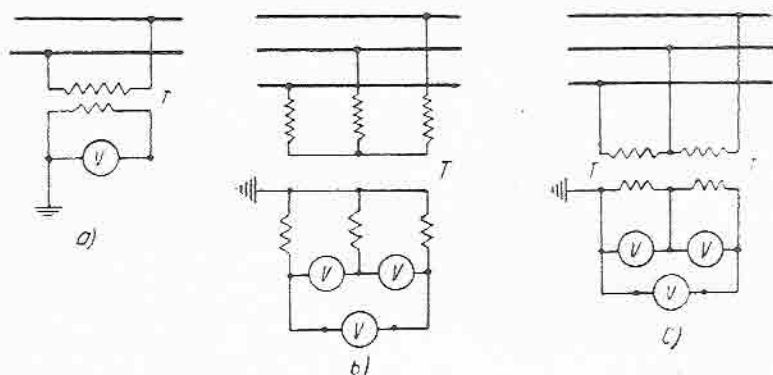


Fig. 13-14. Legarea voltmetrele cu transformator de tensiune.

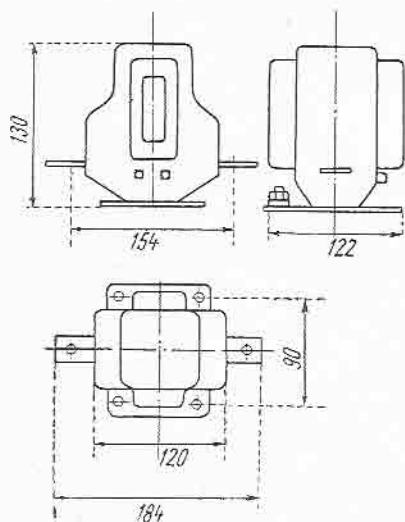


Fig. 13-15. Transformator de curent tip CIRS-0.5 intensitate nominală primară 5-300 A, tensiune 0,5 kV, fabricat în Republica Socialistă România.

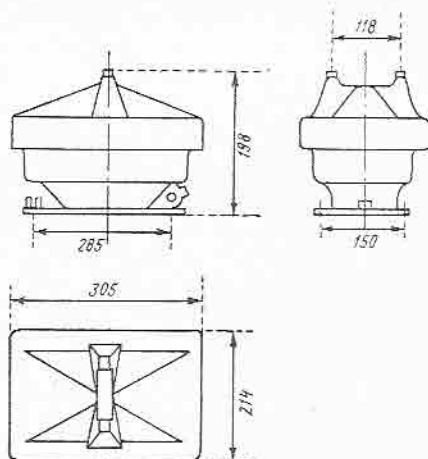


Fig. 13-16. Transformator de tensiune tip TIRB-6, de 6 kV, fabricat în Republica Socialistă România.

În mod analog, se pot lega, prin intermediul transformatoarelor de măsură, wattmetre, contoare etc.

În Republica Socialistă România se fabrică diferite tipuri de transformatoare de măsură. În figurile 13-15 și 13-16 se arată două construcții mai recente cu izolație din rășină turnată și anume un transformator de curent tip CIRS — 0,5 pentru intensități nominale primare de 5—300 A, tensiune 0,5 kV (fig. 13-15) și un transformator de tensiune tip TIRB-6, de 6 kV tensiune primară (fig. 13-16).

7. TRANSFORMATORE DE SUDURĂ

Pentru sudarea cu curent alternativ se utilizează transformatoare speciale, numite *transformatoare de sudură*, care se fabrică și în țara noastră. Aceste transformatoare sînt monofazale. Primarul se alimentează de la rețea, iar secundarul produce curentul în sudură. Caracteristica voltamper (variația tensiunii în funcție de intensitate) trebuie să fie accentuat descendentă (fig. 13-17), adică pe măsură ce curentul crește, tensiunea trebuie să scadă destul de repede. În felul acesta se pot limita curenții de scurtcircuit care apar frecvent în timpul operației de sudare.

Pentru a se obține această caracteristică este necesar ca transformatorul să aibă un flux magnetic de dispersie suficient de mare. Reglarea acestui flux de dispersie se realizează de exemplu, cu ajutorul unei porțiuni deplasabile a miezului transformatorului, prin deplasarea bobinei primare față de cea secundară. În acest scop transformatorul are de multe ori o roată de mîină, prin intermediul căreia se face manevrarea necesară.

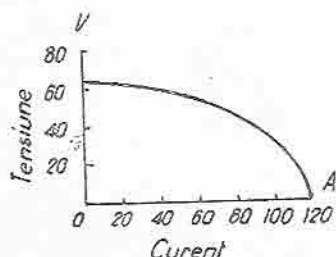


Fig. 13-17. Caracteristica voltamper descendentă a unui transformator de sudură.

Aplicația 13-1. Un transformator normal, trifazat, este alimentat în primar cu o tensiune $U_1=10\,000$ V. Numărul spirelor primare este $N_1=3\,000$ pe fază, iar numărul spirelor secundare $N_2=114$, factorul de putere în secundar $\cos \varphi_2=0,8$ și curentul secundar $I_2=639$ A. Să se afle tensiunea secundară U_2 și puterea activă P_2 dată de înfășurarea secundară.

Rezoluare. Din relația :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

rezultă :

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1 = \frac{114}{3\,000} \cdot 10\,000 = 380 \text{ V.}$$

$$P_2 = \sqrt{3} U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 1,73 \cdot 380 \cdot 639 \cdot 0,8 = 336\,063 \text{ W} = 336 \text{ kW.}$$

8. ÎNTREȚINEREA TRANSFORMATOARELOR

Lucrările mai importante de întreținere obișnuită a transformatoarelor sînt următoarele :

- controlul zilnic al eventualelor scurgeri de ulei ;
- verificarea cu ajutorul nivelului de ulei, a nivelului și culorii uleiului ;
- controlul zgomotului caracteristic produs de funcționarea transformatorului, pentru a constata dacă nu a apărut ceva suspect ;
- controlul izolatoarelor (murdărie, crăpături etc.) ;
- verificarea legăturilor electrice la transformator ;
- verificarea funcționării releului de gaze ;
- verificarea legăturilor la pămînt ;
- verificarea instalației de iluminat în cabina transformatorului ;
- controlul dispozitivelor de semnalizare și alarmă ;
- verificarea broaștelor la cabina transformatorului.

CAPITOLUL XIV

MAȘINI ASINCRONE

1. GENERALITĂȚI

În funcție de felul curentului, mașinile electrice pot fi mașini de curent alternativ și mașini de curent continuu. Independent de felul curentului, mașina care absoarbe energie mecanică și o transformă în energie electrică se numește *generator electric*, iar mașina care absoarbe energie electrică și o transformă în energie mecanică se numește *motor electric*. Mașinile electrice sînt *reversibile*, adică generatorul poate funcționa ca motor și motorul poate funcționa ca generator.

Orice mașină electrică are o parte fixă numită *stator*, în interiorul căruia se învîrtește o parte mobilă numită *rotor*. De aceea, generatoarele și motoarele electrice au căpătat denumirea comună de mașini electrice rotative. Între rotor și stator se află un interstițiu de aer numit *întrefier*. Rotorul și statorul sînt construite din materiale magnetice și formează circuitul magnetic al mașinii, prin care trece fluxul magnetic produs de curenții care parcurg bobinajele așezate atît pe stator, cît și pe rotor.

La baza funcționării tuturor mașinilor electrice stă fenomenul inducției electromagnetice, respectiv interacțiunea dintre cîmpurile magnetice produse în interiorul lor.

În cele ce urmează vor fi descrise mașinile asincrone, din grupa mașinilor de curent alternativ. Mai întîi se vor da noțiunile privind producerea cîmpurilor magnetice învîrtitoare, fundamentale pentru funcționarea unor mașini electrice rotative.

2. PRODUCEREA UNUI CÎMP MAGNETIC ÎNVÎRTITOR

Se consideră un magnet în formă de potcoavă (fig. 14-1). Între poli *N* și *S* ai acestui magnet există un cîmp magnetic, care poate fi reprezentat prin liniile de forță respective. Dacă magnetul se rotește în jurul

unei axe oarecare, de exemplu axa O , câmpul magnetic dintre cei doi poli se va roti și el. S-a obținut deci un câmp magnetic *invirtitor*. Există posibilitatea de a se obține un câmp magnetic invirtitor, fără să fie nevoie de mișcarea unei piese materiale; această posibilitate se utilizează în funcționarea unor mașini electrice, după cum se va arăta mai târziu.

În figura 14-2 s-au reprezentat două bobine identice, una verticală și cealaltă orizontală, așezate una într-alta și fără a avea vreo legătură electrică între ele. În bobina așezată în planul orizontal se trimite un curent alternativ, iar în bobina din planul vertical se trimite alt curent alternativ, astfel încât acești doi curenți să constituie un sistem de doi curenți bifazați, pulsația lor fiind ω .

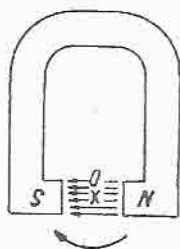


Fig. 14-1. Magnet în rotație.

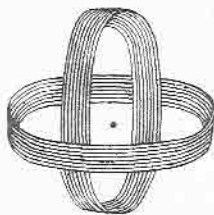


Fig. 14-2. Două bobine perpendiculare una pe alta.

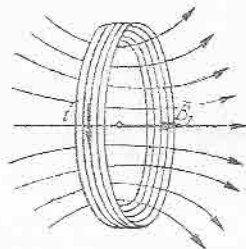


Fig. 14-3. Liniile de forță din interiorul bobinei verticale (cu axa orizontală).

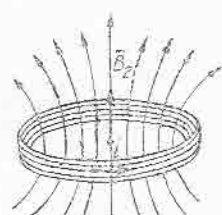


Fig. 14-4. Liniile de forță din interiorul bobinei orizontale (cu axa verticală).

Fiecare bobină va crea în jurul ei un câmp magnetic alternativ. În figura 14-3 se arată liniile de forță ale câmpului magnetic produs, la un moment dat, de bobina verticală. Inducția magnetică în centrul bobinei, pe direcția axului orizontal al bobinei, este reprezentată prin vectorul notat cu \vec{B}_1 . Deoarece curentul care produce câmpul magnetic este alternativ, iar inducția magnetică este proporțională cu curentul care o produce, înseamnă că și inducția magnetică variază potrivit legii sinusului cu aceeași pulsație ca și curentul, astfel încât se poate scrie:

$$B_1 = B_m \sin \omega t,$$

în care B_m este valoarea maximă a inducției.

În figura 14-4 sînt reprezentate liniile magnetice ale câmpului produs în bobina orizontală. Inducția magnetică în centrul bobinei, pe direcția axului vertical al bobinei, este reprezentată prin vectorul \vec{B}_2 . În mod analog se deduce că și inducția magnetică \vec{B}_2 variază potrivit legii sinusului cu aceeași pulsație ω . Dar cei doi curenți fiind bifazați, rezultă că și inducțiile magnetice B_1 și B_2 sînt bifazate și în consecință:

$$B_2 = B_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Din cele de mai înainte rezultă că în centrul celor două bobine din figura 14-2 apar două inducții magnetice bifazate și perpendiculare între ele. Fiind mărimi vectoriale inducțiile B_1 și B_2 pot fi reprezentate prin doi vectori perpendiculari între ei (fig. 14-5). Inducția magnetică din centrul celor două bobine va fi o mărime vectorială, care va rezulta din compunerea, conform regulii paralelogramului, a celor doi vectori \vec{B}_1 și \vec{B}_2 . Dar \vec{B}_1 și \vec{B}_2 variază în timp potrivit legii sinusului, astfel că va trebui să se facă succesiv o serie întreagă de asemenea compuneri, luându-se pentru fiecare moment valoarea respectivă a inducțiilor magnetice B_1 și B_2 .

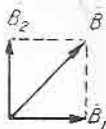


Fig. 14-5. Compunerea celor două inducții magnetice B_1 și B_2 .

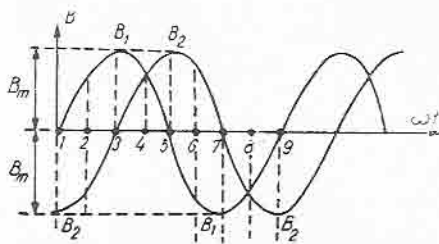


Fig. 14-6. Reprezentarea grafică a inducțiilor magnetice B_1 și B_2 .

În figura 14-6 sînt reprezentate sinusoidale potrivit cărora se consideră că variază inducțiile magnetice B_1 și B_2 . Se vede că sinusoida pentru inducția magnetică B_2 a fost trasată identic cu sinusoida B_1 , dar defazată în întârziere cu unghiul $\pi/2$, deoarece inducțiile magnetice sînt bifazate. S-au luat pe axa absciselor nouă puncte echidistante (la distanțe egale) și pentru fiecare punct s-a măsurat valoarea inducțiilor B_1 și B_2 pe sinusoidale respective.

În figura 14-7 s-au trasat pentru fiecare din cele nouă puncte cite doi vectori perpendiculari avînd valorile respective B_1 și B_2 , și s-a construit apoi și rezultanta corespunzătoare B . Dacă se urmărește cele nouă poziții 1-9, se observă că rezultanta \vec{B} este un vector de lungime constantă, dar care se rotește în jurul punctului O . Acest punct este în realitate centrul celor două bobine din figura 14-2.

Valoarea inducției magnetice rezultante este egală cu valoarea maximă a fiecărei inducții magnetice componente.

Rezultă, așadar, că în interiorul celor două bobine se formează un câmp magnetic învîrlitor, care s-a obținut fără să se miște vreo piesă materială. Viteza unghiulară de rotație a acestui câmp magnetic este egală cu pulsația ω a celor doi curenți bifazați care parcurg bobinele.

În figura 14-8 se consideră trei bobine identice făcînd între ele unghiuri de 120° (sau $2\pi/3$). Bobinele nu au vreo legătură electrică între ele și sînt parcurse de un sistem trifazat de curenți. Printr-un raționament

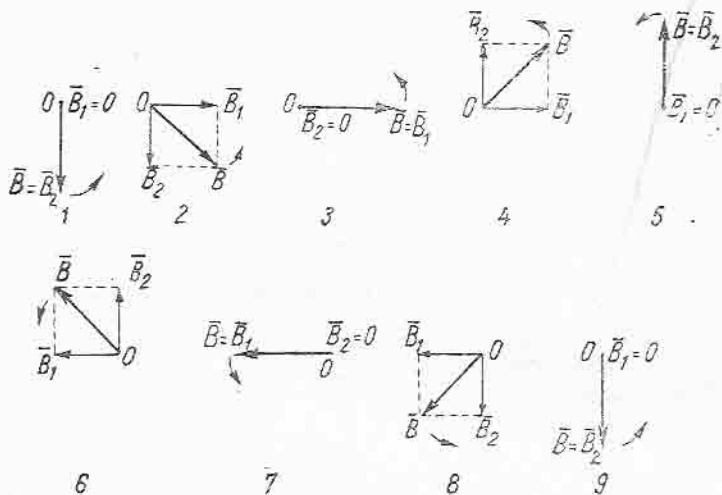


Fig. 34-7. Rotirea vectorului inducției magnetice \vec{B} .

esemănător cu cel precedent se poate ajunge și în acest caz la concluzia că în interiorul bobinelor se formează un câmp magnetic învîrtitor constant ca valoare și care se rotește în jurul centrului bobinelor cu viteza unghiulară ω , egală cu pulsația curenților din bobine. Prin calcule se găsește că

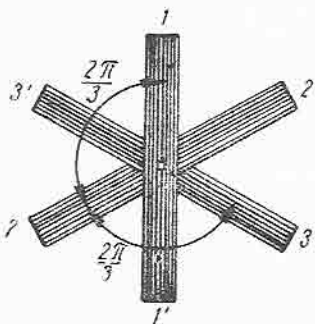


Fig. 14-8. Trei bobine identice decalate între ele la 120° .

inducția magnetică a câmpului rezultat este egală cu $3/2$ din inducția maximă a câmpului datorită fiecărei bobine. În cazul cînd fiecare bobină formează p perechi de poli, se demonstrează că viteza câmpului magnetic învîrtitor este $\frac{\omega}{p}$.

3. DESCOMPUNEREA UNUI CÎMP MEGNETIC ALTERNATIV ÎN DOUĂ CÎMPURI MAGNETICE ÎNVÎRTITOARE

Se consideră două inducții magnetice egale și constante ca valoare, \vec{B}_1 și \vec{B}_2 (fig. 14-9), simetrice față de verticală și care se rotesc în sensuri contrare cu viteza unghiulară constantă ω . Unghiul făcut de fiecare din cele două inducții magnetice cu verticala este la un moment dat :

$$\alpha = \omega \cdot t,$$

unde t este timpul.

Se consideră că valoarea comună a celor două inducții este :

$$\frac{B}{2} = B_1 = B_2.$$

Dacă se compun grafic cele două inducții magnetice (după regula paralelogramului), rezultanta se va găsi după direcția verticalei. Se știe însă că valoarea acestei rezultante este egală cu suma proiecțiilor celor două componente pe direcția rezultantei, adică pe direcția verticalei. Suma acestor proiecții este însă :

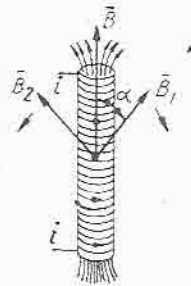


Fig. 14-9. Bobină parcursă de un curent monofazat.

$$B_1 \cos \alpha + B_2 \cos \alpha = \frac{B}{2} \cos \omega t + \frac{B}{2} \cos \omega t = B \cos \omega t,$$

adică : rezultanta celor două inducții magnetice învîrtitoare are o valoare egală cu inducția magnetică :

$$b = B \cos \omega t$$

după direcția verticalei.

Se vede că b este o inducție magnetică alternativă cosinusoidală (sau sinusoidală) de valoare maximă B și de pulsație ω .

În consecință, două inducții magnetice învîrtitoare cu viteza unghiulară ω în sensuri contrare se pot compune într-o inducție magnetică alternativă, fixă ca direcție, cu pulsația ω și avînd ca valoare maximă dublul fiecăreia din inducțiile componente.

Reciproca este de asemenea adevărată, adică : o inducție magnetică alternativă, fixă ca direcție și de pulsație ω se poate descompune în două inducții magnetice, egale fiecare cu jumătate din valoarea maximă a inducției inițiale, care se rotesc în sensuri contrare cu viteza unghiulară ω .

În figura 14-9 se presupune că înfășurarea bobinei este parcursă de un curent alternativ de pulsație ω . Acest curent dă naștere unui câmp magnetic alternativ de pulsație ω și fix ca direcție, inducția magnetică după direcția axei bobinei avînd valoarea maximă B .

Cîmpul magnetic alternativ al bobinei se poate descompune în două cîmpuri magnetice învîrtitoare în sensuri contrare, cu viteza unghiulară ω , egale și constante ca valoare, avînd ca axe inducțiile magnetice :

$$B_1 = B_2 = \frac{B}{2}.$$

S-ar putea deci înlocui bobina fixă parcursă de curent alternativ cu două bobine învîrtitoare în sensuri contrare parcurse de curent continuu.

4. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MOTORULUI ASINCRON

Motorul asincron (fig. 14-10), este o mașină electrică rotativă, constituită dintr-o parte fixă S , numită stator și care este formată dintr-o carcasă, în interiorul căreia se află un miez din table de oțel izolate între ele, avînd forma generală a unui cilindru gol, în interiorul căruia se poate învîrți rotorul R , tot din table de oțel și care are forma generală a unui cilindru plin. Spațiul i dintre stator și rotor constituie *întrefierul mașinii*. Statorul conține pe fața lui interioară o serie de *creștături*, în care sînt introduse conductoarele izolate care formează bobinajul statoric. De asemenea, rotorul are pe suprafața cilindrică creștăturile prevăzute pentru bobinajul rotoric.

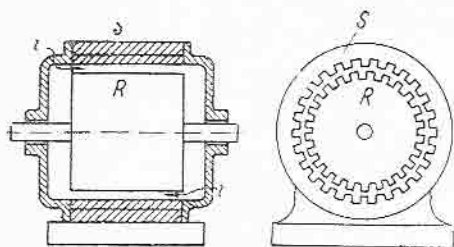
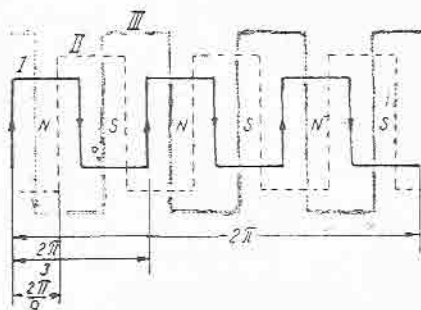


Fig. 14-10. Schema constructivă a motorului asincron.

Atît bobinajul statoric, cît și cel rotoric formează un anumit număr de faze, iar fiecare fază este astfel bobinată, încît să realizeze un *anumit număr de perechi de poli magnetici* (după cum se arată în exemplul ce ur-

mează). Motorul asincron trifazat are bobinajul statoric format din trei faze. Numărul de faze rotorice poate să fie diferit de numărul de faze statorice. Numărul de poli care se formează pe fiecare fază statorică trebuie să fie însă egal cu numărul de poli pe fiecare fază rotorică. Rețeaua electrică de alimentare se leagă de bobinajul statoric al motorului.

Fig. 14-11. Bobinajul desfășurat al unui stator trifazat de motor asincron.



Pentru exemplificare se consideră un motor asincron trifazat (stator trifazat) cu șase poli, pe fiecare fază statorică și rotorică. Pentru a se arăta mai clar felul în care este realizat bobinajul statoric, se presupune statorul desfășurat ca în figura 14-11. Faza I este reprezentată în trăsături pline, faza a II-a, în liniuțe întrerupte, iar faza a III-a, în puncte. Dacă, de exemplu, în faza I curentul ar trece la un moment dat în sensul indicat prin săgeți, se vor forma cei șase poli N și S, după cum s-a indicat pe figură. Faza a II-a este identică cu faza I, dar decalată în spațiu pe periferia statorului față de faza I cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume din faza I. Faza a III-a este identică cu faza a II-a și cu faza I, dar de asemenea decalată față de faza a II-a cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume sau față de faza I cu un unghi egal cu două treimi din unghiul format între doi poli alăturați de același nume. Cele trei bobinaje de fază statorice se leagă electric între ele în stea sau în triunghi (fig. 14-12). Cei trei curenți trifazați din fazele statorice dau naștere la trei cîmpuri magnetice. Aceste cîmpuri magnetice sînt astfel așezate în spațiu, încît au ca rezultantă un cîmp magnetic învîrtitor*, care se rotește în jurul axului motorului cu o viteză unghiulară egală cu ω/p rad/s, unde ω este pulsația curentului de alimentare iar p , numărul perechilor de poli. Liniile de forță ale cîmpului magnetic învîrtitor „taie” conductoarele bobinajului rotoric.

Se presupune că și rotorul este tot trifazat. Bobinajul rotoric desfășurat se prezintă ca și cel statoric, după cum s-a arătat în figura 14-11. Din

* Ca și în cazul general al celor trei bobine de la cap. XIV-2.

punct de vedere electric, fazele rotorice se leagă între ele în stea sau în triunghi. Deoarece este neapărat necesar ca în fazele rotorice să poată circula curenți, pentru motivele care se vor arăta mai departe, aceste faze rotorice se leagă în scurtcircuit, astfel cum se arată în figura 14-13, *a* pentru cazul legării în triunghi și în figura 14-13, *b* pentru cazul legării în stea.

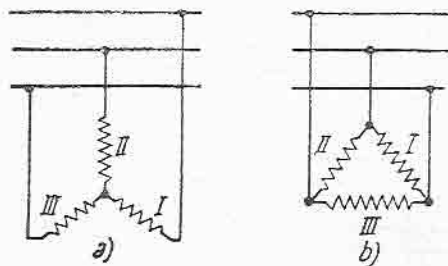


Fig. 14-12. Legarea fazelor statorice:
a — în stea; b — în triunghi.

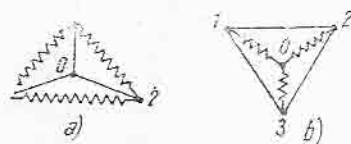


Fig. 14-13. Legarea în scurtcircuit a fazelor rotorice:
a — în triunghi; b — în stea.

Deoarece, după cum s-a arătat, liniile de forță ale cîmpului magnetic învîrtitor taie conductoarele rotorice, se produc în fazele rotorice, prin fenomenul de inducție electromagnetică, trei forțe electromotoare de inducție trifazate, care dau naștere, la rîndul lor, la trei curenți rotorici trifazați. Acești curenți, găsindu-se într-un cîmp magnetic, vor fi supuși unor forțe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul tinde să se opună cauzei. Cauza apariției curenților rotorici și a forțelor electromagnetice o constituie faptul că există o viteză relativă între cîmpul magnetic învîrtitor și conductoarele rotorice. În consecință, efectul, adică curenții rotorici și forțele electromagnetice, ce se exercită asupra lor, vor fi astfel, încît să caute să micșoreze viteza relativă menționată. Aceasta înseamnă că forțele electromagnetice vor constitui un cuplu electromagnetic de rotație, care va antrena rotorul în același sens cu sensul de rotație al cîmpului magnetic învîrtitor.

5. ALUNECAREA MĂTORULUI ASINCRON

Rotorul nu va putea, în rotația sa, să atingă viteza unghiulară ω/p a cîmpului magnetic învîrtitor. Într-adevăr, dacă s-ar produce aceasta, cîmpul magnetic învîrtitor ar avea o poziție neschimbată față de conductoarele rotorice și, în consecință, nu vor mai putea exista curenți induși în rotor, deci nici forțe electromagnetice care să antreneze rotorul, iar acesta își va micșora viteza față de aceea a cîmpului magnetic învîrtitor.

Deoarece rotorul nu se poate învîrți cu aceeași viteză ca și viteza cîmpului magnetic învîrtitor, adică nu se poate învîrți în *sincronism* (în același timp) cu cîmpul magnetic, motorul se numește *asincron* (adică: nu este în același timp).

Este de remarcă că există o oarecare asemănare între funcționarea motorului asincron și aceea a transformatorului. Statorul motorului este analog cu primarul transformatorului, iar rotorul, cu secundarul transformatorului.

Dacă în figura 14-13, *a* nu s-ar fi făcut legăturile de scurtcircuitare ale rotorului 1...0, 2...0 și 3...0, cele trei forțe electromotoare din circuitul 1...2...3...1 ar da o forță electromotoare rezultantă nulă, deoarece suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice este nulă; din această cauză n-ar putea exista curenți în bobinajul rotoric și în consecință rotorul nu s-ar învîrți.

În figura 14-13, *b*, este evident că fără legăturile de scurtcircuitare 1...2...3...1, n-ar putea circula curenți în rotor, deoarece n-ar exista circuite închise.

Se notează cu Ω viteza unghiulară a cîmpului magnetic învîrtitor (care se numește și viteză de sincronism) și cu Ω' , viteza unghiulară a rotorului, mai mică decît Ω .

Expresia :

$$\frac{\Omega - \Omega'}{\Omega} = a \quad (14.1)$$

se numește *alunecare*, deoarece arată cu cît se învîrtește mai repede cîmpul magnetic decît rotorul.

Vitezele unghiulare sînt proporționale cu turațiile măsurate în rot/min. Dacă se notează cu n_0 numărul de rot/min ale cîmpului magnetic învîrtitor și cu n numărul de rotații pe minut ale rotorului, alunecarea va fi egală și cu :

$$a = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (14.2)$$

De multe ori, alunecarea se dă în procente față de Ω sau n_0 . Valoarea în procente a alunecării este dată de :

$$a\% = \frac{n_0 - n}{n_0} 100.$$

Cu cît alunecarea unui motor asincron este mai mare, cu atît pierderile prin efectul Joule-Lenz în rotor sînt mai importante și deci randamentul motorului mai scăzut. Din această cauză, motoarele asincrone industriale se realizează cu o alunecare cît mai mică, și anume de cîteva procente din viteză de sincronism (max. 6%).

Numărul de rotații pe minut ale cîmpului magnetic învîrtitor, fiind n_0 , se poate scrie :

$$2\pi n_0 \text{ rad/min} = \frac{2\pi n_0}{60} \text{ rad/s.}$$

S-a arătat la capitolul XIV — paragraful 2 că viteza cîmpului magnetic învîrtitor este $\frac{\omega}{p}$.

În consecință :

$$\frac{2\pi n_0}{60} = \frac{\omega}{p},$$

adică :

$$n_0 = \frac{60\omega}{2\pi p} = \frac{60 \cdot 2\pi f}{2\pi p} = \frac{60f}{p}.$$

Dacă, de exemplu, motorul are 4 poli ($p=2$), iar frecvența rețelei de alimentare este de 50 Hz, atunci :

$$n_0 = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ rot/min},$$

adică viteza de rotație a cîmpului magnetic învîrtitor este de 1 500 rot/min. Alunecarea este de cîteva procente din această cifră, după cum s-a precizat. Dacă se presupune, de exemplu, o alunecare de 4% adică :

$$\frac{4 \cdot 1\,500}{100} = 60 \text{ rot/min},$$

aceasta înseamnă că rotorul se va învîrți cu o viteză :

$$n = 1\,500 - 60 = 1\,440 \text{ rot/min}.$$

6. CUPLUL MOTORULUI ASINCRON

După cum s-a arătat, rotorul motorului se învîrtește din cauza forțelor electromagnetice care se exercită asupra curenților rotorici. Aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic* de rotație, sau *cuplul*

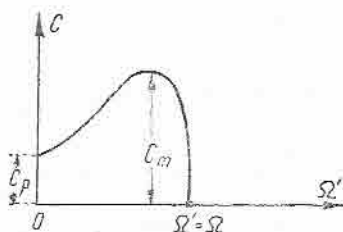


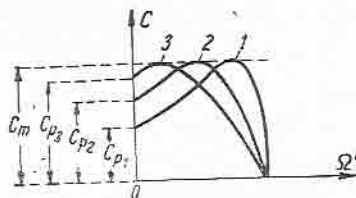
Fig. 14-14. Caracteristica mecanică a motorului asincron.

motor al mașinii. Felul cum variază acest cuplu C în funcție de viteza rotorului constituie *caracteristica mecanică* a motorului. În figura 14-14 este reprezentată această caracteristică. Se vede că în momentul pornirii ($\Omega' = 0$),

cuplul de pornire are o anumită valoare C_p ; apoi cuplul crește și atinge o valoare maximă C_m , după care scade repede până la zero. În momentul cînd, teoretic, cuplul atinge această valoare nulă, viteza Ω' a rotorului atinge, tot *teoretic*, viteza de sincronism Ω ceea ce s-a arătat însă că nu se întîmplă în realitate.

Pentru ca motorul asincron să poată porni în sarcină, este necesar să dezvolte un cuplu de pornire puternic. În acest scop, în momentul pornirii se intercalează în fiecare fază rotorică cite o rezistență (la motorul numit cu *inele de contact*, care se va descrie mai departe). Treptat această rezis-

Fig. 14-15. Efectul introducerii de rezistențe în rotor.



tență se scoate din circuit, pe măsură ce viteza rotorului se apropie de viteza de regim. Efectul introducerii unor rezistențe în bobinajul rotoric se poate explica cu ajutorul figurii 14-15, care arată diferite caracteristici mecanice. Curba 1 este trasată pentru cazul cînd nu s-au introdus rezistențe. Pe măsură ce rezistențele introduse sînt mai mari, curba se înclină către stînga (curbele 2, 3...) după cum se vede pe figură. Din această cauză, cuplul de pornire, care la început era C_{p1} , crește la valori din ce în ce mai mari, C_{p2} , C_{p3} ..., cuplul maxim C_m rămîind însă neschimbat ca valoare.

În consecință, introducerea de rezistențe în fazele rotorice, provoacă o mărire a cuplului de pornire.

La pornire, motorul asincron absoarbe un curent cu mult mai mare decît în regim normal. Curentul de pornire poate atinge valori pînă la de circa 7 ori curentul nominal de plină sarcină. Efectul introducerii rezistențelor în bobinajul rotoric este și acela de a reduce curentul de pornire.

În figura 14-15, curba caracteristicii mecanice are la început o porțiune urcătoare și apoi una coboritoare. Porțiunea urcătoare corespunde unei funcționări *nestabile*. Pe această porțiune, la o scădere a vitezei din cauza unei creșteri bruște a sarcinii (adică a cuplului rezistent), se produce o scădere a cuplului motor C , ceea ce duce la o scădere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul final este oprirea motorului. La o creștere a vitezei din cauza unei scăderi bruște a cuplului rezistent, corespunde o creștere a cuplului motor C , ceea ce duce la o creștere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul este deplasarea punctului de funcționare pînă cînd ajunge pe porțiunea coboritoare din dreapta.

Porțiunea aceasta coboritoare corespunde unei funcționări *stabile*. Într-adevăr, la o scădere a vitezei din cauza creșterii cuplului rezistent se produce o creștere a cuplului motor C pînă ce acesta echilibrează noul cuplu rezistent, iar funcționarea se stabilizează. Unei creșteri a vitezei din

cauza scăderii cuplului rezistent, îi corespunde o scădere și a cuplului motor, astfel încît și de data aceasta funcționarea se stabilizează.

Deoarece partea din curbă care corespunde funcționării stabile este aproape verticală, adică viteza este aproximativ aceeași, rezultă că motorul asincron este un motor cu viteză practic constantă la diversele sarcini.

7. CONSTRUCȚIA MOTORULUI ASINCRON

Statorul este protejat de o carcasă care poate fi din fontă, aluminiu, sau tablă de oțel sudată. În interiorul carcasei este fixat pachetul statoric, confecționat din tole de oțel cu siliciu, subțiri. În acest pachet sînt tăiate creștături, care formează o serie de șanțuri paralele cu axul motorului și în care se introduc conductoarele care constituie bobinajul statoric.

Rotorul este cilindric, fiind constituit tot dintr-un pachet din tole subțiri. Pe suprafața cilindrică sînt prevăzute creștăturile în care se introduc conductoarele bobinajului.

Rezistențele care servesc la mărirea cuplului de pornire și la limitarea curentului de pornire formează *reostatul de pornire al motorului*. Deoarece acest reostat este un aparat fix așezat în apropierea motorului, iar rotorul este o piesă mobilă, legătura electrică dintre fazele rotorice și reostat se face prin intermediul unor inele din alamă, bronz, oțel etc. solidare cu arborele motorului, izolate între ele și izolate față de arbore. Pe aceste inele de contact freacă perii fixe în spațiu, făcute din cărbune tare, grafit, bronz grafitat etc. În figura 14-16 sînt reprezentate legăturile care se realizează

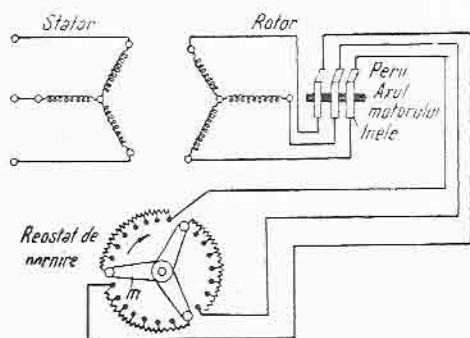


Fig. 14-16. Legarea reostatului de pornire.

între bobinajele rotorice și reostatul de pornire, prin intermediul celor trei inele metalice fixate pe capătul arborelui motorului. Pe măsură ce motorul intră în viteză, maneta *m* a reostatului este rotită în sensul săgeții, astfel încît la sfîrșitul perioadei de pornire, toate rezistențele să se găsească scoase din circuitele fazelor rotorice, acestea rămînînd legate în scurtcircuit.

Spre a se evita uzura prin frecare a periilor și a inelelor de contact, precum și pierderile corespunzătoare de energie, la motoarele mai mari există dispozitive, prin intermediul cărora, periile sînt ridicate de pe inele la sfîrșitul perioadei de pornire, scurtcircuitînd totodată fazele rotorului.

În figura 14-17 este reprezentat un motor asincron trifazat cu rotor bobinat și cu inele.

Există și reostate de pornire automate; la acestea, scoaterea rezistențelor din bobinajele rotorice se face prin intermediul unui dispozitiv a cărui funcționare este bazată pe acțiunea forței centrifuge, fie prin alte metode.

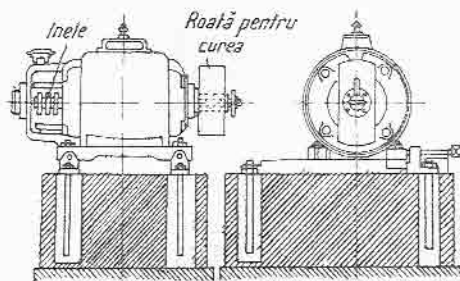


Fig. 14-17. Motor asincron cu rotor bobinat și inele.

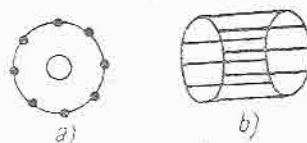


Fig. 14-18. Rotor în colivie.

Se construiesc și motoare al căror rotor nu mai are bobinaje din conductoare, ci este constituit într-un mod special numit *în colivie de veveriță*, sau, pe scurt, *în colivie* (numit de asemenea și *în scurtcircuit*). La acest tip de motor, în creștăturile rotorului se introduc bare de cupru, care formează scheletul unui cilindru. Barele sînt scurtcircuitate la cele două capete prin inele tot de cupru, formînd un fel de colivie, după cum se poate vedea în figura 14-18. Colivia de cupru poate fi înlocuită cu o colivie de aluminiu, care este mai ieftină. Aceste colivii, alcătuite din o serie de conductoare legate în scurtcircuit, explică pentru ce motoarele asincrone în colivie se numesc și *cu rotorul în scurtcircuit*.

La asemenea motoare nu se poate utiliza un reostat de pornire, iar cuplul de pornire este mai mic decît la acelea cu reostat, curentul de pornire avînd o valoare mai mare. Pentru a limita acest curent, la motoarele mai mari se utilizează diferite dispozitive, care reduc tensiunea aplicată statorului în perioada pornirii și astfel se diminuează curentul, dar și cuplul de pornire. Figura 14-19 reprezintă schema statorului unui motor asincron trifazat cu rotorul în colivie și cu statorul legat normal în triunghi. Reducerea tensiunii în momentul inițial al pornirii se obține prin legarea fazelor statorice în stea și apoi — către sfîrșitul perioadei de pornire — prin legarea lor în triunghi. Schimbarea legăturilor se obține cu ajutorul unui

comutator stea-triunghi, după cum se vede în figura 14-19. În felul acesta, dacă la sfârșitul pornirii (legare în triunghi) tensiunea pe fază statorică este U , la începutul pornirii (legare în stea) tensiunea are valoarea redusă $U/\sqrt{3}$. Pornirea motorului se mai poate realiza utilizând în locul comutatorului stea-triunghi, un autotransformator, în scopul reducerii tensiunii inițiale.

Tendința de a realiza motoare simple cu cuplu de pornire puternic și curent de pornire limitat a dus la construirea motoarelor cu dublă colivie. Rotorul este prevăzut cu două colivii concentrice. Colivia exterioară are o rezistență electrică mare și o inductivitate proprie mică, iar aceea interioară are o inductivitate proprie mult mai mare decât colivia exterioară și o rezistență mică.

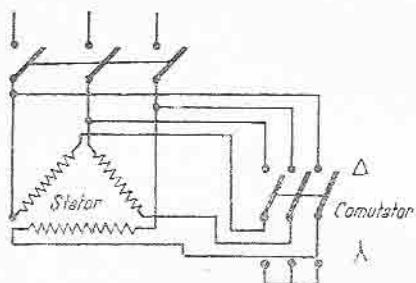


Fig. 14-19. Comutator stea-triunghi.

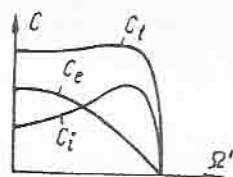


Fig. 14-20. Cuplul motorului asincron în dublă colivie.

În orice moment, cuplul este rezultatul cuplurilor datorite fiecărei colivii. Frecvența curenților din rotor are valoarea cea mai mare (aproape egală cu frecvența rețelei de alimentare) în prima perioadă a pornirii. Curenții care trec prin colivia interioară în această perioadă a pornirii sînt mici, din cauza reactanței inductive $L\omega$ a coliviei, care este mare, deoarece atât inductivitatea sa proprie L cît și pulsația curențului sînt mari. Cea mai mare parte a curențului trece în acest interval de timp prin colivia exterioară, care, avînd o rezistență mare, face să se obțină un cuplu de pornire puternic și un curent de pornire redus. Pe măsură ce motorul capătă viteză, frecvența curenților din rotor începe să scadă, ceea ce micșorează din ce în ce reactanța coliviei interioare. Din această cauză, cea mai mare parte a curenților rotorici încep să treacă prin colivia interioară, părăsind colivia exterioară care are o rezistență mare.

Figura 14-20 arată cum variază în funcție de viteza rotorică Ω' cuplul motor C_e , datorit coliviei exterioare, și cuplul motor C_i , datorit coliviei interioare. Cuplul motor total, C_t este puternic la pornire și variază destul de puțin pînă la atingerea valorii cuplului maxim. Comportarea motorului cu rotorul în dublă colivie este asemănătoare cu a motorului cu rotorul bobinat cu inele și reostat de pornire, prezentînd aceleași avantaje plus o robustețe sporită și un preț de cost mai redus.

8. PORNIREA, SCHIMBAREA SENSULUI DE ROTAȚIE ȘI REGLAJUL TURAȚIEI LA MOTOARELE ASINCRONE TRIFAZATE

S-a arătat la diferite tipuri de motoare asincrone trifazate felul cum se realizează pornirea, și anume: la motoarele cu inele de contact, cu ajutorul reostatului de pornire, la motoarele în colivie, mai mici, direct prin aplicarea tensiunii la borne, iar la cele mai mari, prin intermediul unui comutator stea-triunghi sau a unui autotransformator trifazat.

Pentru a se schimba sensul de rotație a motorului asincron, trebuie să se schimbe sensul de rotație al cîmpului magnetic învîrtitor. Aceasta se obține prin schimbarea între ele a două legături de la conductoarele de alimentare la bornele statorice. În figura 14-21 legăturile arătate în trăsături pline corespund unui sens de rotație, iar în trăsături punctate, sensului contrar de rotație.

Se obține un reglaj al vitezei motoarelor asincrone trifazate prin intercalarea unei rezistențe variabile în fazele rotorice la motoarele cu rotor bobinat. Acest reglaj este neeconomic însă din cauza pierderilor Joule-Lenz în rezistențe și se folosește numai pentru reglarea turației în limite restrinse. Un reglaj economic în exploatare se poate obține prin modificarea numărului de poli.

S-a văzut că turația cîmpului magnetic învîrtitor este invers proporțională cu numărul perechilor de poli. În consecință, printr-o schimbare a numărului de poli se schimbă turația de sincronism, deci și turația rotorului. Schimbarea numărului de poli necesită însă o construcție mai complicată și mai scumpă. S-a văzut de asemenea că turația de sincronism este proporțională cu frecvența rețelei de alimentare. În consecință, dacă curentul de alimentare al motorului ar trece în prealabil printr-un *converțitor de frecvență* (dispozitiv care poate schimba frecvența), s-ar putea obține de asemenea un reglaj al turației, dar și acest procedeu este costisitor și complicat.

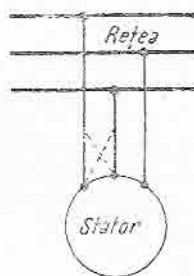


Fig. 14-21. Schimbarea sensului de rotații.

9. UTILIZAREA MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE

Motoarele asincrone trifazate se întâlnesc cel mai des în practică, dat fiind că sînt robuste, simple și ieftine (în special cele în scurtcircuit) și au un cuplu de pornire destul de mare (în special cele cu rotor bobinat și inele,

precum și cele în dublă colivie), Ele se utilizează în general în cazurile unde nu este nevoie de un reglaj al turației, dat fiind că turația acestor motoare este practic constantă. Aceste motoare se întâlnesc în special la acționarea mașinilor-unelte, ascensoarelor, ventilatoarelor, pompelor, compresoarelor și a altor utilaje industriale. Inventarea motoarelor asincrone se datorește inginerului rus Dolivo-Dobrovolski.

În Republica Socialistă România se fabrică toate tipurile de motoare asincrone. În figura 14-22 se arată, de exemplu, un motor asincron trifazat în scurtcircuit, seria unitară tip ASI 160—S, construcție închisă, 11 kW, cu patru poli.

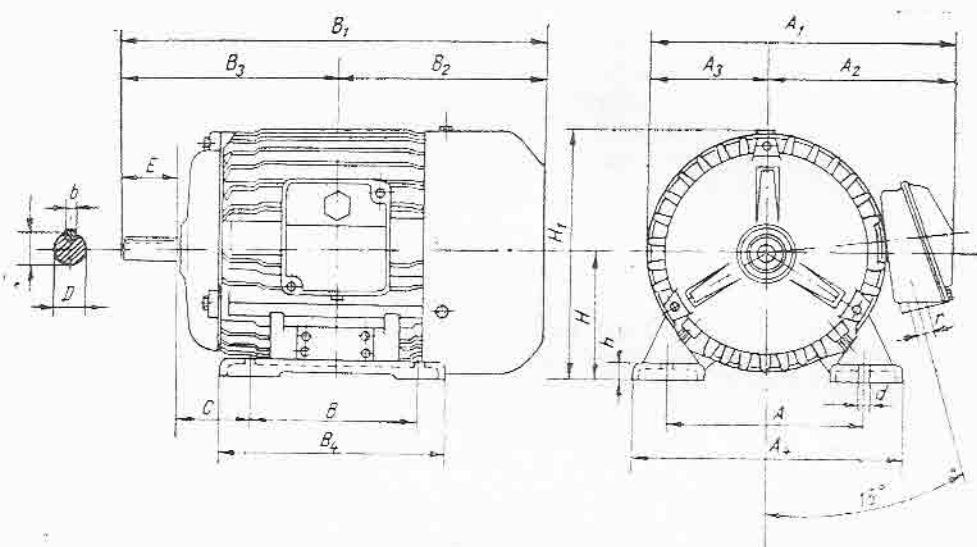


Fig. 14-22. Motor asincron trifazat în scurtcircuit tip ASI 160-S, 11 kW, de fabricație românească.

$B=178$; $B_1=550$; $B_2=273$; $B_3=277$; $B_4=228$;
 $H=160$; $H_1=350$; $h=25$; $C=108$; $A=254$; $A_1=410$;
 $A_2=235$; $A_3=165$; $A_4=324$; $d=14$; $D=38$; $E=80$;
 $b=10$; $t_1=41,6$.

Aplicația 14-1. Un motor asincron trifazat este alimentat de la o rețea cu frecvența f de 50 Hz și are $2p=4$ poli. Turația n a rotorului este 1 450 rot/min. Care este alunecarea motorului ?

Rezolvare. Turația câmpului magnetic învârtitor (viteza de sincronism) este:

$$n_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1\,500 \text{ rot/min.}$$

Alunecarea în procente este:

$$\alpha \% = \frac{n_0 - n}{n_0} 100 = \frac{1\,500 - 1\,450}{1\,500} 100 = 3,33 \%$$

10. MOTORUL ASINCRON MONOFAZAT

Acest motor are rotorul în colivie sau bobinat, iar statorul are un singur bobinaj, legat prin cele două capete la o rețea monofazată de alimentare. În statorul acestui motor nu se mai poate produce un câmp magnetic învîrtitor, ci unul fix în spațiu. După cum se știe, un asemenea câmp magnetic alternativ se poate descompune în două câmpuri magnetice învîrtitoare egale, care se rotesc în sensuri contrare. Dacă motorul are p perechi de poli, viteza unghiulară de rotație a celor două câmpuri este ω/p , în care ω este pulsația rețelei alimentare.

Fiecare câmp magnetic învîrtitor dă naștere la câte un cuplu motor. În figura 14-23, curba 1 reprezintă variația cuplului motor în funcție de viteză, corespunzător unui câmp magnetic învîrtitor, iar curba 2, variația cuplului corespunzător câmpului magnetic învîrtitor, care se rotește în sens invers. Cuplurile curbei 2 trebuie socotite de sens contrar cuplurilor care corespund curbei 1. La pornire, cînd turația rotorică este nulă, cele două cupluri fiind egale și de sens contrar, rotorul va rămîne nemîșcat. În consecință, *motorul asincron monofazat nu poate porni singur*.

Dacă printr-un mijloc oarecare i se imprimă rotorului o viteză unghiulară oarecare $+\Omega'_0$, se vede în figura 14-23 că, la această viteză, corespunde un cuplu motor C_1 (curba 1) mai mare și de un sens, precum și un cuplu motor C_2 (curba 2) mai mic și de sens contrar. Rotorul va continua deci să se rotească singur mai departe, sub influența cuplului rezultat :

$$C_r = C_1 - C_2.$$

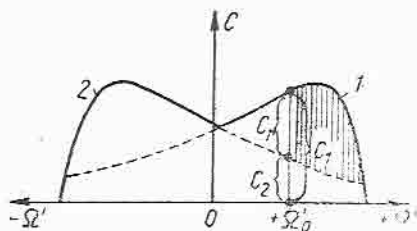


Fig. 14-23. Cuplul motorului asincron monofazat.

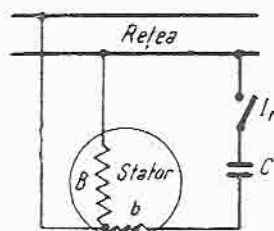


Fig. 14-23. Motor asincron monofazat cu bobinaj auxiliar.

La motoarele mici, impulsul de pornire se poate da chiar cu mîna. La motoarele mai mari, se utilizează însă dispozitive speciale. În statorul motorului se prevede un bobinaj auxiliar, care este astfel așezat în spațiu față de bobinajul normal, încît dacă aceste două bobinaje sînt parcurse de doi curenți bifazați să se producă un câmp magnetic învîrtitor, ca și la motorul asincron trifazat. În figura 14-24, statorul motorului conține bobinajul prin-

cipal B și bobinajul auxiliar b , menționate mai înainte. În serie cu bobinajul b se găsește condensatorul C (sau o inductivitate L). La pornire, se închide întreruptorul I_r . Deoarece în bobinajul b se găsește un condensator, curentul din acest bobinaj se găsește defazat cu un unghi de aproximativ $\pi/2$ înaintea curentului din bobinajul B . Dacă în bobinajul auxiliar b , în locul condensatorului C ar fi fost o inductivitate mare L , curentul din bobinajul b ar fi fost defazat cu un unghi de aproximativ $\pi/2$ în urma curentului din bobinajul B . În ambele cazuri, cei doi curenți din bobinajele B și b constituie un sistem asemănător cu doi curenți bifazați, astfel că se produce în stator un cîmp magnetic învîrtitor, cu un anumit sens de rotație, iar motorul pornește singur ca și un motor asincron trifazat. La sfîrșitul perioadei de pornire, se deschide întrerupătorul I_r , iar motorul funcționează în continuare ca motor monofazat.

Motoarele asincrone monofazate se întrebuițează destul de rar, deoarece au un randament mai scăzut decît motoarele asincrone trifazate și afară de aceasta, la putere egală, sînt mai costisitoare și au cuplul de pornire (cu bobinaj auxiliar) mai mic decît la motorul asincron trifazat. De obicei se întrebuițează pentru puteri mici sau acolo unde nu există decît rețea monofazată (aspiratoare de praf, ventilatoare, seule electrice de mină etc.).

1. GENERATORUL ASINCRON

Se consideră un motor asincron care, la un moment dat, a atins teoretic turația de sincronism, iar cuplul motor s-a anulat complet. Dacă în această situație se aplică *din afară* un cuplu motor asupra mașinii (de exemplu, prin intermediul unui motor cu ardere internă), atunci turația rotorului depășește turația de sincronism, iar mașina din motor se transformă în *generator* de curent.

Generatorul asincron este foarte simplu din punct de vedere constructiv și poate fi adaptat la comandă automată. Prezintă însă marele dezavantaj că înrăutățește factorul de putere al rețelei și nu poate funcționa nelegat la rețea (alimentînd o rețea proprie).

Din această cauză, în centralele electrice, pentru producerea curentului alternativ nu este folosit generatorul asincron, ci generatorul *sincron* sau *alternatorul*, care va fi studiat în capitolul următor.

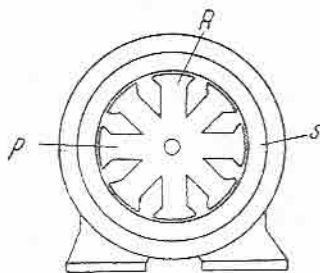
MAȘINI SINCRONE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL GENERATORULUI SINCRON

Generatorul sincron sau alternatorul este o mașină electrică, care servește la producerea curentului alternativ. El este constituit dintr-o parte fixă, numită stator, și o parte mobilă, numită rotor. Statorul generatorului sincron este realizat la fel ca și statorul motorului asincron. În figura 15-1 s-a prezentat schematic construcția unui generator sincron. Pe suprafața interioară a statorului *S* se găsesc creștăturile în care se așază conductoarele. În golul cilindric al statorului se găsește rotorul *R*, numit și *roată polară*. Rotorul este format dintr-o serie de poli magnetici *p*, care creează câmpul magnetic al mașinii.

Rotorul generatorului trebuie să fie învârtit cu ajutorul unui motor primar oarecare (motor diesel, motor cu explozie, turbină cu apă, turbină cu abur etc.) cuplat direct sau prin curea.

Fig. 15-1. Schema constructivă simplificată a generatorului sincron.



Cele mai frecvente sînt generatoarele trifazate, care au statorul trifazat. Cele trei bobinaje ale statorului se pot lega fie în triunghi, fie în stea, ca și la motorul asincron trifazat.

Poli rotorici sînt astfel realizați, încît după un pol nord urmează un pol sud, iar după un pol sud urmează un pol nord. Ei creează în întrefierul dintre

stator și rotor un câmp magnetic. Dacă rotorul este învîrtit cu o anumită viteză, se va produce un câmp magnetic învîrtitor ale cărui linii de forță «taie» conductoarele bobinajului statoric.

Cele trei bobinaje statorice se comportă asemănător cu cele trei spire din figura 8—1 care se învîrtesc într-un câmp magnetic fix, astfel încît în spire apar trei forțe electromotoare trifazate. La generator situația este inversată: spirele sînt fixe, iar câmpul magnetic se învîrtește. Rezultatul este însă același, adică în cele trei bobinaje se produc, prin inducție electromagnetică, trei forțe electromotoare trifazate.

Dacă roata polară are $2p$ poli și este rotită cu o turație de n_s rot/s, înseamnă că prin fața unei spire statorice vor trece într-o secundă $p \cdot n_s$ perechi de poli. Trecerea unei singure perechi de poli prin fața unei spire statorice induce în această spiră o forță electromotoare alternativă care ia toate valorile corespunzătoare unei perioade. Trecerea a pn_s perechi de poli într-o secundă în fața spirei, face ca forța electromotoare indusă în spiră să aibă o frecvență de pn_s perioade pe secundă (sau Hz). În consecință, frecvența forței electromotoare dintr-o spiră a statorului și deci din bobinajele statorice este:

$$f = pn_s = \frac{pn}{60}, \quad (15.1)$$

unde prin n s-a notat numărul de rotații pe minut. Relația aceasta arată legătura dintre numărul de perechi de poli, turația rotorului și frecvența produsă de un generator.

În figura 15-2 se arată felul cum se leagă electric între ele și la rețea cele trei bobinaje statorice ale unui generator trifazat. Figura 15-2, *a* reprezintă legarea în stea, iar figura 15-2, *b* legarea în triunghi. În cazul legării în stea, rețeaua care pleacă de la generator poate fi cu conductor neutru (trasat punctat în figură) sau fără conductor neutru. Dacă generatorul pro-

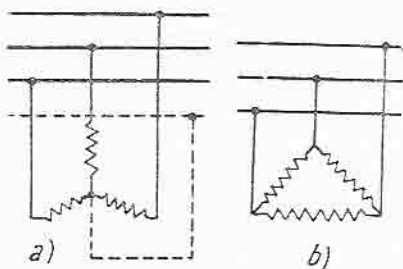


Fig. 15-2. Legarea la rețea a generatorului trifazat:

a — legarea în stea; *b* — legarea în triunghi.

duce curent electric în circuitul de utilizare, în fazele statorice iau naștere trei curenți trifazați cu o pulsație ω dată de:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{pn}{60} = 2\pi pn_s. \quad (15.2)$$

Ca și în statorul motorului asincron trifazat, cei trei curenți trifazați produc un câmp magnetic învîrtitor, care se rotește cu viteza unghiulară ω/p . Dar :

$$\frac{\omega}{p} = \frac{2\pi p n_s}{p} = 2\pi n_s. \quad (15.3)$$

Expresia $2\pi n_s$ reprezintă, în rad/s, viteza unghiulară a rotorului și a câmpului învîrtitor rotoric. Rezultă că atât câmpul învîrtitor statoric, cît și câmpul învîrtitor rotoric se învîrtesc cu aceeași turație, care este și turația rotorului. Deoarece rotorul generatorului se învîrtește cu aceeași turație (în același timp) ca și câmpul magnetic învîrtitor, această mașină este numită *sincronă*.

Pentru a avea un câmp magnetic puternic, generatorul are rotorul format din *electromagneți*, în loc de magneți permanenți. Curentul folosit pentru alimentarea electromagneților este *continuu* și se numește *curent de excitație*. De obicei, curentul de excitație este produs de o mașină de curent continuu, așezată pe același ax cu alternatorul, numită *excitatoare* (mașinile de curent continuu vor fi studiate în capitolul următor). În acest caz, generatorul se numește cu *excitație proprie*.

Dacă excitația se ia de la o sursă separată, generatorul se numește cu *excitație separată*.

În capitolul VII, paragraful 1 s-a arătat că în cazul cînd o spiră se învîrtește în jurul unui câmp magnetic, valoarea maximă a forței electromotoare indusă în spiră este :

$$E_m = \omega \Phi_m$$

în care :

ω este pulsația forței electromotoare din spiră ;

Φ_m — fluxul magnetic maxim, care străbate spiră.

Valoarea eficace a acestei forțe electromotoare este :

$$E = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi_m.$$

Formula poate fi utilizată și la denumirea valorii eficace a forței electromotoare care ia naștere în fiecare fază statorică a generatorului sincron. Trebuie însă să se țină seama că la generator o fază statorică are un număr s de spire, astfel încît forța electromotoare din bobinajul unei faze este de s ori mai mare decît aceea dintr-o singură spiră. De asemenea, în cazul generatorului, în locul fluxului magnetic Φ_m trebuie să se considere fluxul Φ care corespunde unui pol rotoric. În felul acesta, formula pentru generator devine :

$$E = s \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi.$$

S-a arătat că pulsația este :

$$\omega = \frac{2\pi p n}{60}$$

astfel încît :

$$E = s \cdot \frac{2\pi p n}{\sqrt{2} \cdot 60} \Phi.$$

Din figura 14-11, care reprezintă bobinajele statorice ale unui motor asincron trifazat, identice cu bobinajele statorice ale unui generator trifazat, se vede că fiecare spiră este constituită din cîte două conductoare *active* (care sînt tăiate de linii de forță) legate între ele, fie în față, fie în spate. Dacă se notează cu N numărul de conductoare active ale unei faze, rezultă :

$$E = \frac{N \cdot 2\pi p n}{2 \sqrt{2} \cdot 60} \Phi = \frac{\pi p}{\sqrt{2} \cdot 60} N n \Phi.$$

Dacă se notează :

$$\frac{\pi p}{\sqrt{2} \cdot 60} = k$$

se obține :

$$E = k N n \Phi, \quad (15.4)$$

adică : *valoarea eficace a forței electromotoare, care se produce în fiecare fază statorică, este proporțională cu numărul de conductoare ale fazei, cu viteza rotorului și cu fluxul magnetic al unui pol rotoric.*

Rotorul generatorului este totdeauna învîrtit de către motorul primar cu o viteză constantă, pentru ca și frecvența curentului produs să rămînă constantă. De asemenea, numărul de poli și numărul de conductoare rămîine constant. Singura mărime din expresia forței electromotoare E care poate fi variată este valoarea fluxului magnetic Φ . Acest flux magnetic depinde de valoarea curentului de excitație. În consecință, printr-o variație a curentului de excitație, se poate varia fluxul Φ , și deci se poate obține un reglaj al forței electromotoare E produsă de fiecare fază statorică.

În timpul funcționării generatorului, curentul produs trebuie să aibă valori diferite, în funcție de numărul și de puterea consumatorilor. Cînd curentul crește, în bobinajele statorice se produce o cădere de tensiune mai mare, ceea ce face ca tensiunea la bornele generatorului să scadă. Pentru a menține constantă această tensiune, trebuie să se mărească forța electromotoare E . În acest scop se mărește fluxul magnetic Φ prin mărirea curentului de excitație. Cînd curentul scade, se micșorează curentul de excitație, pentru ca tensiunea la bornele generatorului să nu ajungă la valori prea mari. Variația curentului de excitație se obține prin manevrarea unui *reostat de excitație*, introdus în circuitul curentului de excitație.

În cazul generatoarelor cu sistem propriu de autoexcitație se poate obține tensiune constantă independent de sarcină.

S-a arătat că pentru a produce energie electrică, generatorul trebuie să fie acționat de un motor, care învîrtește rotorul. Acest motor dă generatorului o anumită energie mecanică, pe care generatorul o transformă în energie electrică.

Energia mecanică este dată generatorului prin intermediul unui *cuplu motor* mecanic de către motorul de antrenare. Curenții care se produc în statorul generatorului se găsesc într-un cîmp magnetic și în consecință asupra curenților se exercită forțe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul tinde să se opună cauzei, adică aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic rezistent*, care este de sens contrar cuplului motor. Dacă se neglijează pierderile din generator, cuplul electromagnetic rezistent este egal cu cuplul mecanic motor.

În cazul cînd statorul generatorului are un singur bobinaj, generatorul se numește *monofazat*. În stator se produce prin inducție o singură forță electromotoare monofazată, iar curentul alternativ alimentează o rețea monofazată constituită din două conductoare. Generatoarele monofazate se întîlnesc rar în practică, deoarece la putere egală, un generator monofazat este mai costisitor decît un generator trifazat și are un randament mai scăzut.

2. MOTORUL SINCRON

Generatorul sincron este o mașină reversibilă, adică poate primi de la o rețea energie electrică, pe care o transformă în energie mecanică la arboarele său. În acest caz, statorul se leagă la o rețea electrică. Ca și la motorul asincron trifazat, în interiorul generatorului ia naștere un cîmp magnetic învîrtitor, care se rotește cu viteza unghiulară ω/p , ω fiind pulsația rețelei de alimentare, iar p numărul de perechi de poli ai cîmpului. Cîmpul magnetic învîrtitor se comportă ca și o serie de poli magnetici nord și sud situați succesiv în întrefierul mașinii și care pot antrena cu aceeași viteză ω/p polii magnetici ai rotorului, astfel încît rotorul începe să se învîrtească. Deoarece rotorul se învîrtește cu aceeași viteză de rotație ca și cîmpul magnetic învîrtitor, motorul acesta se numește *sincron*. Trebuie observat că polii cîmpului magnetic învîrtitor nu pot antrena polii magnetici de nume contrar ai rotorului decît dacă distanța dintre polii cîmpului învîrtitor și polii rotorici rămîne aceeași. Numai în acest caz se exercită un cuplu de rotație constant ca valoare și ca sens. La început însă, rotorul motorului sincron este nemișcat, iar cîmpul magnetic învîrtitor al statorului se rotește. Polii nord, de exemplu, ai cîmpului învîrtitor se găsesc cînd înaintea, cînd îndărătul polilor sud rotorici. Din această cauză se vor excita forțe de atracție asupra polilor rotorici, cînd într-un sens cînd în sensul contrar, astfel încît rotorul va rămîne nemișcat. Rezultă că motorul sincron nu poate porni singur.

Este necesar ca la început rotorul să fie adus printr-un mijloc oarecare la o viteză egală cu viteza unghiulară ω/p de rotație a cîmpului magnetic învîrtitor. Se spune că trebuie să se aducă rotorul motorului la *sincronism*. Cînd rotorul este adus la sincronism, polii săi se găsesc la distanță invariabilă față de polii cîmpului magnetic învîrtitor, iar forțele de atracție asupra polilor rotorici rămîn constante și de același sens, astfel încît rotorul continuă să se rotească singur mai departe și mașina funcționează ca motor sincron. În acest caz, cuplul motor este cuplul electromagnetic care se exercită între cîmpul magnetic învîrtitor și polii rotorici, iar cuplul rezistent este cuplul la arbore datorit, de exemplu, unei pompe care trebuie acționată de motorul sincron. De data aceasta, cuplul rezistent este un cuplu mecanic.

Aducerea motorului sincron la sincronism, în perioada de pornire, se poate face cu un motor auxiliar. Un alt mijloc constă în a porni motorul sincron ca motor asincron, ceea ce se numește *pornire în asincron*. Pentru aceasta se închide circuitul înfășurării rotorului printr-o rezistență, separîndu-se deci de sursa excitatoare, și mașina se comportă ca un motor asincron în scurtcircuit, putînd deci porni singură, însă cu un cuplu redus. Cînd viteza de rotație a rotorului s-a apropiat cît mai mult de viteza de sincronism, se lasă să treacă curentul de excitație (curent continuu) în bobinajul polilor rotorici și motorul «prinde» ca motor sincron, putînd da un cuplu motor normal.

3. UTILIZAREA MAȘINILOR SINCRONE

Generatorul sincron este mașina care se întilnește în mod obișnuit în centralele electrice de curent alternativ. În mod normal, se utilizează generatoare trifazate cu o frecvență de 50 Hz. În cazuri speciale, de exemplu pentru tracțiunea electrică cu curent monofazat de frecvență $16\frac{2}{3}$ Hz, se folosesc generatoare monofazate cu frecvența $16\frac{2}{3}$ Hz.

Din cauza dificultăților de pornire semnalate în paragraful precedent și din cauza faptului că nu suportă suprasarcini importante (ca motorul asincron), motorul sincron este mai puțin utilizat în practică.

Motorul sincron are însă marele avantaj de a funcționa cu un factor de putere foarte bun, spre deosebire de motoarele asincrone. Din acest motiv există tendința de a fi totuși utilizat cît mai mult (mai ales cu pornirea în asincron), pentru acționarea utilajelor care funcționează cu turație constantă și nu comportă suprasarcini (anumite ventilatoare, pompe etc.).

Motorul sincron se folosește, de asemenea, ca motor funcționînd în gol (fără a avea o sarcină la arbore), pentru ameliorarea factorului de putere al unei rețele electrice. Într-adevăr, dacă un astfel de motor, este *supraexcitat*, adică dacă curentul de excitație depășește o anumită valoare, el are proprietatea de a mări factorul de putere al rețelei. Se spune, în acest caz, că motorul îndeplinește funcția de *compensator sincron*.

4. CONSTRUCȚIA MAȘINILOR SINCRONE

Figura 15-3 reprezintă aspectul exterior al unui generator sau motor sincron. În dreapta se vede excitatoarea, care este montată pe același ax cu mașina propriu-zisă. Când axul mașinii se învîrtește, el pune în mișcare și excitatoarea, care produce curentul continuu necesar excitației mașinii sincrone. În stînga se vede capătul de arbore liber. Dacă mașina este generator, pe acest capăt de arbore se montează dispozitivul de cuplare (roata de cureaua sau cuplaj direct) cu motorul care antrenează generatorul. Dacă mașina funcționează ca motor sincron, capătul de ax se lasă liber (cînd motorul servește drept compensator sincron) sau are montat dispozitivul de cuplare cu mașina care trebuie să fie antrenată.

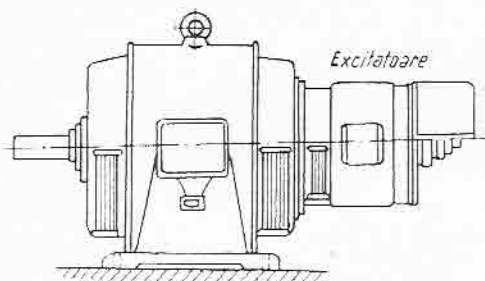


Fig. 15-3. Generator sincron.

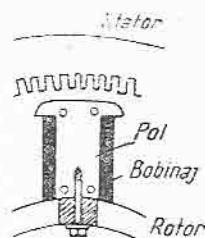


Fig. 15-4. Detaliu constructiv.

Rotorul unei mașini sincrone este constituit în general dintr-un butuc central din oțel, pe care sînt fixați polii astfel cum este indicat în figura 15-4. Pentru ușurința prelucrării polii se execută din tole de oțel izolate între ele și asamblate cu buloane. Extremitatea polilor dinspre stator are o talpă, care permite o repartizare bună a liniilor de forță produse de poli. Bobinajul din jurul polilor este realizat din sîrmă de cupru izolată.

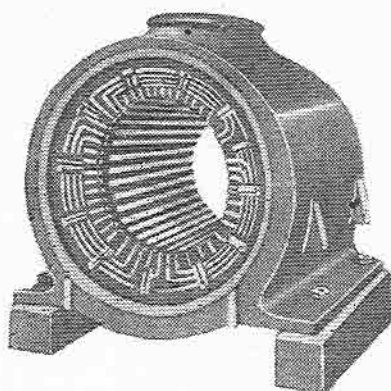
În figura 15-5 este reprezentat aspectul exterior al unui rotor. În stînga se văd cele două inele metalice care se învîrtesc solidar cu rotorul și care servesc la aducerea curentului continuu de excitație.

În cazul cînd un generator este acționat de o turbină cu abur, prin cuplare directă, turația lui este mare (de exemplu 3 000 rot/min) pentru a corespunde turației mari pe care o are de obicei o astfel de turbină. Un asemenea generator, numit *turbogenerator*, nu are poli aparenti, din motive de ordin constructiv; ei se formează prin bobinarea înfășurărilor rotorice

prezentată o secțiune printr-o centrală hidroelectrică echipată cu un grup electrogen constituit dintr-o turbină hidraulică cu ax vertical, cuplată direct cu un generator sincron, cu ax vertical, montat deasupra turbinei.

Statorul unei mașini sincrone este construit din tole de oțel izolate între ele (pentru a se reduce curenții turbionari) și prinse cu ajutorul unor buloane. Acest stator este fixat la o carcasă turnată sau sudată (fig. 15-8).

Fig. 15-8. Statorul unui generator sincron de putere mijlocie.



Pe suprafața interioară a statorului sînt prevăzute creștăturile în care se montează conductoarele care formează bobinajele statorice. În cazul cînd creștăturile sînt «deschise» la partea spre întrefier, bobinele care constituie bobinajul statoric se confecționează separat pe șabloane și apoi se introduc în creștături.

În Republica Socialistă România se construiesc în mod curent diferite tipuri de generatoare sincrone trifazate pentru tensiunea nominală de 400/231 și puteri de 5, 30, 38, 80 și 125.

5. MERSUL ÎN PARALEL AL GENERATOARELOR SINCRONE

Într-o centrală electrică funcționează de obicei mai multe generatoare sincrone. În figura 15-9 sînt reprezentate în mod schematic două grupuri electrogene notate *I* și *II* dintr-o centrală electrică, care debitează în comun pe aceleași bare colectoare *B*. Fiecare grup electrogen este compus dintr-un motor *M* și un generator *G*. De la barele colectoare pleacă circuitele *C*, care alimentează o rețea electrică. Această rețea poate fi alimentată și de

alte centrale electrice. Se spune că cele două generatoare G funcționează în paralel pe barele colectoare; de asemenea, pot funcționa în paralel și mai multe centrale *interconectate* la aceeași rețea.

Se consideră că la un moment dat funcționează numai grupul I , generatorul G_1 fiind legat la bare prin intermediul întreruptorului I_1 care este închis. Al doilea generator G_2 este deconectat de la bare cu ajutorul între-

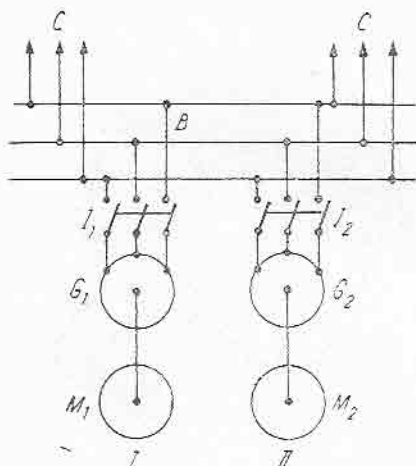


Fig. 15-9. Două grupuri electrogene într-o centrală.

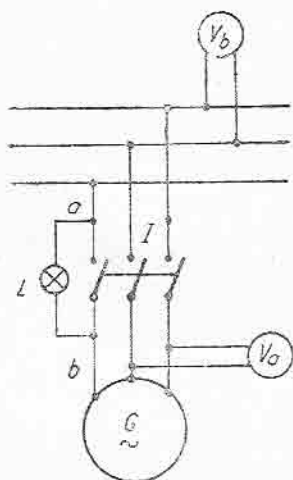


Fig. 15-10. Generator sincron prevăzută pentru cuplare în paralel.

ruptorului I_2 care este deschis. Închizând întreruptorul I_2 , generatorul grupului II debitează și el pe barele B , adică generatoarele G_1 și G_2 au fost puse în paralel.

Pentru a se putea lega în paralel generatorul G_2 , acesta trebuie să îndeplinească următoarele condiții de bază:

- a) să aibă la borne aceeași tensiune ca și tensiunea barelor;
- b) frecvența tensiunii generatorului să fie egală cu frecvența la bare;
- c) tensiunea generatorului să corespundă ca fază cu tensiunea barelor;
- d) trebuie să se respecte și succesiunea fazelor.

Tensiunea la bornele generatorului se măsoară cu voltmetrul V_a , iar la bare, cu voltmetrul V_b (fig. 15-10). Trebuie ca motorul de antrenare să aducă generatorul cât mai aproape de turația lui nominală. După aceasta se menevrează *reostatul de excitație*, care se găsește intercalat în circuitul de excitație, astfel încât tensiunea generatorului să fie egală cu tensiunea la bare.

Pentru a îndeplini ultimele trei condiții de cuplare în paralel, numite *condiții de sincronism* este necesar un reglaj mult mai precis al turației. Turația motorului, care antrenează generatorul, poate fi reglată fie manual, fie automat. Reglajul automat se face cu ajutorul unui *regulator automat de turație*, a cărui construcție depinde de felul motorului. Funcționarea acestui regulator este în principiu următoarea:

Dacă generatorul funcționează cu o anumită turație și la un moment dat sarcina generatorului crește, motorul trebuie să învingă un cuplu rezistent mai mare, ceea ce are

ca efect o scădere a turației. Scăderea turației face ca regulatorul automat să intervină acționând asupra agentului motor (abur, apă, combustibil) în sensul măririi admisiei; aceasta are ca efect o creștere a puterii motorului și deci o creștere a turației. Dacă sarcina generatorului scade, motorul are de învins un cuplu rezistent mai mic, ceea ce are ca efect o creștere a turației. Creșterea turației face ca regulatorul să acționeze asupra agentului motor, micșorând admisია, ceea ce produce o micșorare a puterii motorului și deci o scădere a turației.

La legarea în paralel, generatorul funcționează fără sarcină (nu produce curent) și este necesar un dispozitiv sensibil care, acționat la comandă, să mărească sau să micșoreze admisია, pentru a realiza un reglaj cât mai precis al turației.

Cînd generatorul funcționează în gol, forța electromotoare E este egală chiar cu tensiunea la borne, deoarece căderea de tensiune în statorul generatorului este nulă, neexistînd curent.

Se presupune că această forță electromotoare a fost adusă cu ajutorul reostatului de excitație la valoarea egală cu tensiunea U la bare. Chiar dacă aceste două mărimi sînt egale, după cum rezultă din diagrama din figura 15-11 între vectorii \vec{E} și \vec{U} există în general un anumit unghi de defazaj α . Deoarece \vec{E} nu are o frecvență riguros egală cu frecvența tensiunii \vec{U} la bare, dată de rețea, unghiul de defazaj α este variabil. Din această cauză, între vectorii \vec{E} și \vec{U} există o diferență vectorială, egală cu vectorul \vec{V} și care variază. Se vede din figură că valoarea maximă a vectorului \vec{V} are loc pentru $\alpha = \pi$, iar valoarea nulă, pentru $\alpha = 0$. Cu cît diferența dintre cele două frecvențe este mai mare, cu atît α și deci \vec{V} variază mai repede. Acționînd printr-un dispozitiv de reglaj fin al motorului, se poate obține ca frecvența generatorului să difere foarte puțin de frecvența la bare. În această situație, α și \vec{V} variază foarte lent și dacă în momentul cînd $\alpha = 0$ (concordanță de fază între \vec{E} și \vec{U}) se închide întreruptorul I (fig. 15-10), alternatorul rămîne în paralel la bare.

Spre a putea cunoaște momentul indicat pentru închiderea întreruptorului, se folosește o lampă de fază L arătată în figura 15-10. Lampa se găsește legată între o bară și o bornă a generatorului, astfel încît funcționează pe baza diferenței dintre tensiunea la bare și la generator, adică tensiunea la bornele lămpii depinde de mărimea vectorului din figura 15-11. Lampa va arde cu o intensitate luminoasă, care variază periodic. Cînd $\alpha = 0$, lampa se stinge ($V = 0$), iar cînd $\alpha = \pi$ lampa are strălucirea maximă (V este maxim).

Cu cît variază mai încet, cu atît frecvența de stingere și strălucire maximă este mai mică; într-un interval de timp cînd această frecvență este mică, în momentul cînd lampa este stinsă ($\alpha = 0$), se închide întreruptorul I (fig. 15-10), și astfel alternatorul este cuplat în paralel la bare.

În acest moment însă generatorul nu debitează curent, adică nu s-a încărcat cu sarcină. Trebuie, așadar, după cuplarea în paralel să se încarce generatorul, descărcîndu-se eventual celelalte generatoare din centrală. Această încărcare se obține mărind motorul de acționare a generatorului.



Fig. 15-11. Diagrama vectorială a tensiunii generatorului și a barelor.

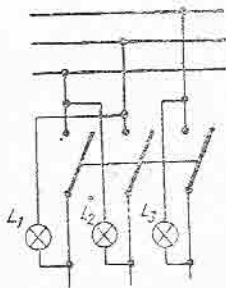


Fig. 15-12. Legarea lămpilor pentru obținerea focului învîrtitor.

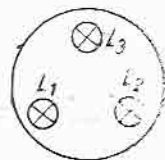


Fig. 15-13. Așezarea lămpilor pentru obținerea focului învîrtitor.

În loc de o singură lampă de fază, se pot monta trei lămpi, câte una pe fiecare fază; în practică se utilizează frecvent montajul celor trei lămpi în felul arătat în figura 15-12 când două lămpi (L_1 și L_2) sînt legate în cruce. În acest caz, lămpile se aprind și se sting succesiv într-o anumită ordine. Dacă se așază cele trei lămpi în vîrfurile unui triunghi echilateral și se acoperă cu un geam mat (fig. 15-13) se capătă impresia unei lumini care se mișcă circular, adică a unui *foc învîrtilor*. Cînd focul se învîrtește într-un anumit sens, mașina se învîrtește prea repede, iar cînd se învîrtește în sens invers, mașina se învîrtește prea încet. Cuplarea în paralel se face în momentul cînd lampa L_3 , se stinge.

La centralele moderne există și dispozitive automate de cuplare în paralel.

Aplicația 15-1. Un motor Diesel antrenează prin cuplare directă un generator sincron cu o frecvență $f=50$ Hz, cu opt poli ($2p=8$). Cuplul motor pe care-l produce motorul la arborele său este $G=900$ Nm. Generatorul funcționează cu o tensiune între faze $U=6\,000$ V și are un factor de putere $\cos \varphi=0,8$. Randamentul său este $\eta=0,92$. Care este valoarea intensității I a curentului produs?

Rezolvare. Din relația:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \rightarrow n.$$

rezultă:

$$n = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ rot/min.}$$

Dacă viteza unghiulară în rad/s a arborelui este Ω și dacă se exprimă puterea în CP puterea P_m dată de motor în arbore este:

$$P_m = C \cdot \Omega = 900 \cdot \frac{2\pi \cdot 750}{60} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 70\,650 \text{ W} = 70,65 \text{ kW.}$$

Puterea la bornele generatorului este:

$$P_a = \eta \cdot P_m = 0,92 \cdot 70,65 = 65 \text{ kW.}$$

Din relația:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

rezultă:

$$I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi} = \frac{65\,000}{1,73 \cdot 6\,000 \cdot 0,8} = 7,7 \text{ A.}$$

$$\Omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \left(\text{rot} \cdot \frac{1}{s} \right) \frac{\text{rad}}{\text{sec.}}$$

MAȘINI DE CURENT CONTINUU

1. PRINCIPIUL DE PRODUCERE A CURENTULUI CONTINUU ÎN GENERATORUL DE CURENT CONTINUU

Se consideră în figura 16-1 un tambur de oțel T , care se poate roti în jurul unui ax orizontal OO' și se presupune că acest tambur se găsește între cei doi poli N și S ai unui magnet. Se înfășoară pe tambur un fir conductor izolat. Pe figură, pentru claritate, s-a arătat numai începutul bobinajului, între punctele 1 și 2; în realitate însă bobinajul trebuie considerat completat, astfel încât să se închidă.

În figura 16-2 este reprezentat același tambur la altă scară și văzut din față. Bobinajul a fost trasat complet, după cum se va explica mai departe. Se notează conductoarele de pe suprafața cilindrică a tamburului astfel: capetele de conductoare din față cu 1, 2, 3, ... iar capetele de con-

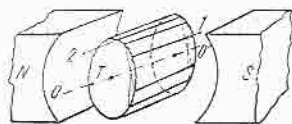


Fig. 16-1. Începutul înfășurării pe tambur la o mașină de curent continuu.

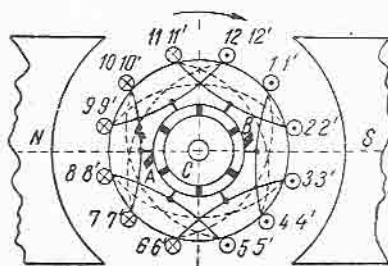


Fig. 16-2. Bobinai complet pe tambur.

ductoare din spate cu $1', 2', 3' \dots$ Bobinajul are următoarea succesiune : $1-4-4'-11'-11-2-2'-9'-9-12-12'-7'-7-10-10'-5'-5-8-8'-3'-3-6-6'-1'-1$.

Dacă se rotește tamburul în sensul săgeții, în conductoarele de la periferia tamburului iau naștere forțe electromotoare (pe baza fenomenului de inducție electromagnetică), care tind să producă curenți în sensurile arătate pe figură, corespunzătoare sensurilor forțelor electromotoare respective. Sensul curenților se află cu ajutorul legii lui Lenz : efectul se opune cauzei. Ca urmare, forțele electromagnetice care se produc formează un cuplu electromagnetic de sens contrar cuplului ce produce rotația tamburului în sensul săgeții. Această condiție este îndeplinită, dacă curenții au sensurile indicate pe figură.

Solidar cu tamburul este fixat un cilindru C (fig. 16-2), numit *colector*, alcătuit din lamele din cupru, în formă de sector, izolate între ele și izolate față de tambur și de ax. Spirele sînt legate la lamelele colectorului, după cum se vede pe figură. Două perii conductoare de cărbune, A și B , fixe în spațiu freacă în mod permanent pe colector. Periile sînt așezate pe direcția axei polilor. Pe figură s-au desenat puțin deplasate față de această axă, pentru a face desenul mai clar.

În figura 16-3 s-a considerat întregul bobinaj de pe tambur, desfășurat. S-au notat extremitățile conductoarelor de pe suprafața cilindrică a tamburului cu aceleași cifre ca și în figura 16-2. Cu l_1 și l_2 s-au notat cele două lamele ale colectorului, pe care freacă periile, în momentul considerat.

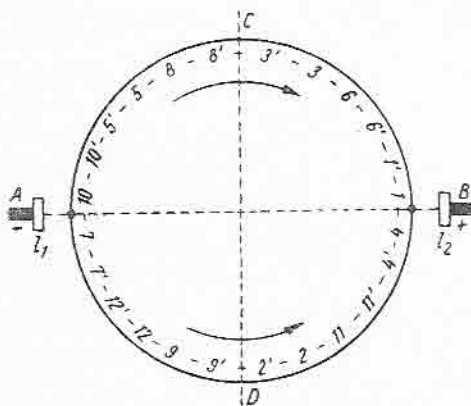


Fig. 16-3. Bobinajul de pe tambur desfășurat.

De lamela l_1 este legată porțiunea din înfășurare cuprinsă între punctele 7 și 10, iar de lamela l_2 este legată porțiunea din înfășurare cuprinsă între punctele 4 și 1. În alt moment al rotației tamburului, altă pereche de lamele legate în ambele două puncte ale înfășurării va veni în contact cu cele două perii A și B .

Jumătatea superioară a înfășurării din figura 16-3 cuprinde un anumit număr de conductoare în care se produc forțe electromotoare, care însumate dau în momentul considerat o forță electromotoare E avînd sensul săgeții

superioare. Jumătatea inferioară a înfășurării din figura 16-3 cuprinde același număr de conductoare ca și jumătatea superioară. În consecință, în jumătatea inferioară se produce o forță electromotoare totală de aceeași valoare E , avînd sensul săgeții inferioare din figură.

În definitiv, în momentul respectiv, între periile A și B se produc două forțe electromotoare *în paralel*, fiecare de valoarea E . Forța electromotoare totală, pentru întreaga înfășurare, între periile A și B , va avea tot valoarea E , după cum se știe.

În realitate în figurile 16-2 și 16-3 trebuie presupus că există un număr foarte mare de conductoare pe suprafața cilindrică a tamburului, și un număr corespunzător de mare de lamele de colector.

De asemenea, se presupune că tamburul se învîrtește suficient de repede pentru ca, după un interval de timp t_0 , foarte mic, fiecare conductor să ia locul conductorului precedent și fiecare lamelă să ia locul lamelei precedente. În acest caz, după fiecare interval de timp t_0 , forța electromotoare între periile A și B va avea aceeași valoare E , deoarece în figura 16-3 nimic nu s-a schimbat, decît faptul că fiecare conductor a luat locul conductorului precedent și fiecare lamelă a luat locul lamelei precedente. Din această cauză se poate considera că forța electromotoare între periile A și B păstrează o valoare practic constantă, adică este o forță electromotoare *continuuă*.

Dacă se urmărește un conductor oarecare (de exemplu conductorul $g-g'$) în timpul rotației tamburului, se constată că în conductor ia naștere o forță electromotoare e alternativă sinusoidală. Aceasta se explică prin faptul că acest conductor face parte dintr-o spirală, care se rotește într-un câmp magnetic; la capítulul VII, § 1 s-a văzut că în acest caz în spirală ia naștere o forță electromotoare alternativă sinusoidală.

Deoarece suma mai multor forțe electromotoare e alternative sinusoidale este tot o forță electromotoare alternativă sinusoidală, înseamnă că de fapt între periile A și B în intervalul de timp foarte mic t_0 există o forță electromotoare alternativă sinusoidală cu anumite valori; în intervalul de timp t_0 următor, există de asemenea o forță electromotoare alternativă sinusoidală cu aceleași valori ca și în intervalul de timp t_0 precedent ș.a.m.d., astfel că între periile A și B apare o forță electromotoare a cărei variație în timp este dată de porțiunea îngroșată din figura 16-1. Se vede din această figură că, cu cît intervalele de timp t_0 sînt mai mici, cu atît porțiunea îngroșată se apropie mai mult de o linie dreaptă, adică forța electromotoare tinde spre o valoare constantă E .

Dacă se presupune că diametrul tamburului este D , iar lungimea sa L , suprafața sa cilindrică străbătută de fluxul magnetic Φ al unui pol este

$$(\text{fig. 16-5}): S = \frac{\pi D L}{2}.$$

Inducția magnetică medie pe această suprafață va fi:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{\frac{\pi D L}{2}} = \frac{2\Phi}{\pi D L}.$$

Dacă tamburul are o turație de n rot/min, respectiv $n/60$ rot/s, viteza de deplasare a unui punct de pe periferia tamburului, deci viteza de deplasare a oricărui conductor, este :

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

Forța electromotoare indusă într-un conductor, este după cum se știe

$$e = BLv = \frac{2\Phi}{\pi DL} L \frac{\pi D n}{60} = 2\Phi \frac{n}{60}$$

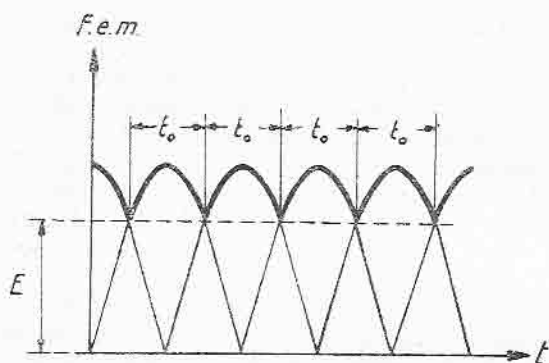


Fig. 16-4. Variația în timp a forței electromotoare între periile.

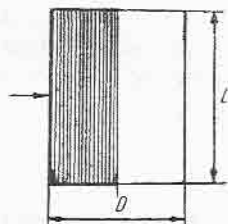


Fig. 16-5. Suprafața corespunzătoare fluxului magnetic dinspre polul din stînga.

Forța electromotoare totală E între periile A și B (fig. 16-3) este egală cu forța electromotoare din fiecare ramură, deoarece, după cum s-a arătat, ramurile ACB și ADB sînt în paralel. Dacă N este numărul total al conductoarelor de pe tambur, pe fiecare ramură sînt $N/2$ conductoare. În consecință, forța electromotoare continuă între periile A și B este :

$$E = \frac{N}{2} e = N \frac{n}{60} \Phi = N n_s \Phi, \quad (16.1)$$

în care n_s este turația în rot/s.

Această relație a forței electromotoare este valabilă pentru cazul cînd în jurul tamburului se găsesc 2 poli. Dacă în general, sînt $2p$ poli și 2 a ramuri în paralel, expresia forței electromotoare devine :

$$E = \frac{p}{a} N n_s \Phi. \quad (16.2)$$

Rezultă că forța electromotoare continuă care se produce este proporțională cu numărul de conductoare N , cu turația n_s și cu fluxul magnetic polar Φ .

Dacă fluxul magnetic Φ se măsoară în weberi, forța electromotoare se obține în volți.

Mașina descrisă mai înainte este un *generator de curent continuu*, deoarece între perii A și B se poate lega un circuit de utilizare care să fie alimentat cu curent continuu. Mașina se mai numește și *dinam*.

Dacă forța electromotoare produsă de generator este E , tensiunea între perii U , curentul debitat I , iar rezistența totală a indusului r , se poate scrie :

$$E = U + rI$$

conform legii a doua a lui Kirchhoff.

Tensiunea între perii are expresia :

$$U = RI,$$

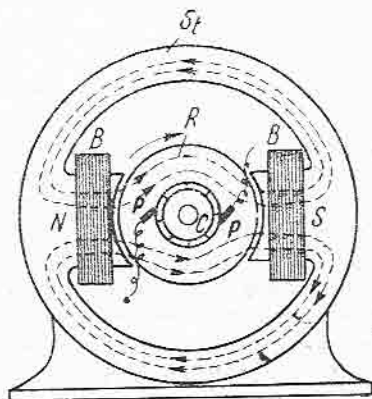
în care R este rezistența circuitului exterior de utilizare.

Din prima relație se deduce și :

$$U = E - rI. \quad (16.3)$$

Se vede că tensiunea U la bornele generatorului de curent continuu (dinamului) depinde de forța electromotoare E și de căderea de tensiune rI în indus. Deoarece rezistența r a indusului este mică, căderea de tensiune

Fig. 16-6. Schema constructivă a generatorului de curent continuu (dinamului).



nu depășește la mașinile moderne câteva procente din E .

În figura 16-6 este reprezentat simplificat un generator de curent continuu. Pentru ca fluxul magnetic inductor să fie cât mai puternic, polii sînt înfășurați cu bobinaje, prin care trece un curent continuu numit *curent de excitație*. Polii magnetici sînt fixați de o carcasă fixă de oțel, care are forma unui cilindru gol. Între poli se poate roti rotorul pe care se găsește înfășurat un bobinaj asemănător aceluia din figura 16-2. În figura 16-6 se observă și colectorul C .

Părțile principale ale unui generator de curent continuu sînt, așadar, următoarele :

a) O parte fixă S_t (statorul) cu polii magnetici N și S , care produc fluxul magnetic și poartă numele de *inductor*. Mașina poate fi bipolară (cu 2 poli), tetrapolară (cu 4 poli), hexapolară (cu 6 poli) etc. În jurul polilor se găsește bobinajul B de excitație.

b) O parte mobilă R (rotorul), în bobinajul căruia se induce o forță electromotoare și care se numește *indus*. Indusul este rotit prin cuplaj direct sau prin roată de curea, de către un motor primar (Diesel, cu benzină, turbină etc.).

c) Un cilindru cu lamele, care se învîrtește o dată cu indusul, numit *colector* (C).

d) Periile P de cărbune, care culeg curentul de la colector și îl trimit în circuitul de utilizare.

Curentul de excitație poate fi produs fie de o sursă separată (de exemplu o baterie de acumulatoare sau un alt generator), fie de însuși generatorul de curent continuu. În primul caz, generatorul se numește *cu excitație separată sau independentă*, iar în al doilea caz, *cu excitație proprie sau cu autoexcitație*.

În figura 16-7 este reprezentată schema unui generator cu excitație separată, iar în figura 16-8, schema unui generator cu excitație proprie.

În cazul unui generator cu excitație separată, producerea curentului de excitație și deci a fluxului magnetic inductor nu depinde de curentul produs de generator. Dacă generatorul este cu excitație proprie, curentul de excitație este produs chiar de generator. Cînd un asemenea generator începe să funcționeze, nu are curent de excitație, deci n-ar putea produce fluxul magnetic în inductor. În realitate, oțelul polilor mașinii are un oarecare magnetism, datorită remanenței de la funcționarea anterioară, astfel încît se produce un mic flux magnetic inductor, care dă naștere la o forță electromotoare de valoare redusă. Această forță electromotoare face ca și în bobinajul de excitație să treacă un mic curent de excitație, care întărește magnetismul polilor. Din această cauză, fluxul inductor se mărește, forța electromotoare crește, ceea ce are drept efect și o mărire a curentului de excitație s.a.m.d. pînă cînd se ajunge la saturația oțelului din circuitul magnetic care corespunde situației de funcționare normală a mașinii.

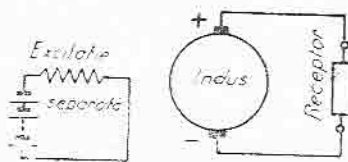


Fig. 16-7. Schema electrică a generatorului de curent continuu (dinamului) cu excitație separată.

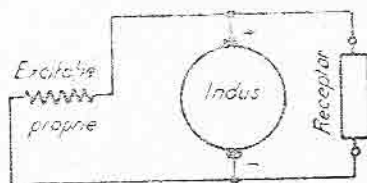


Fig. 16-8. Schema electrică a unui generator de curent continuu (dinam) cu excitație proprie.

2. REACȚIA INDUSULUI

Reacția indusului este un fenomen datorit apariției cîmpului propriu al indusului și se manifestă prin două efecte importante care se analizează mai jos.

Se presupune că un generator de curent continuu funcționează, dar circuitul exterior de utilizare este întrerupt, astfel încît nu se produce curent electric. Sensul de rotație a indusului este acela indicat de săgeți în figura 16-9. Cîmpul magnetic produs de inductor are liniile de forță astfel după cum este indicat în figura 16-9, *a*. Sensul acestor linii este de la stînga spre

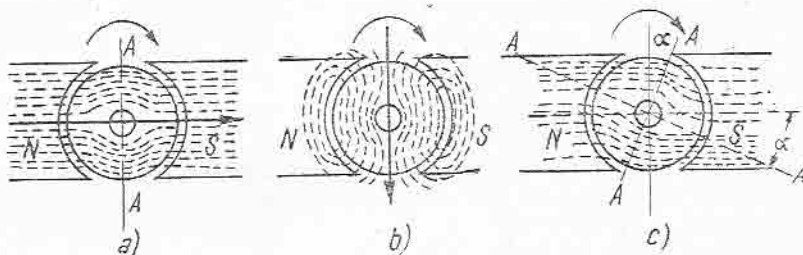
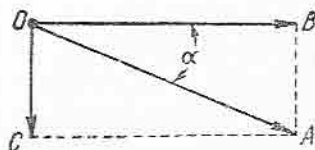


Fig. 16-9. Reacția indusului:

a — cîmpul inductor ; *b* — cîmpul indus ; *c* — cîmpul rezultat.

dreapta. Axa pe care se găsesc periile corespunde cu axa polilor. Imediat ce generatorul începe să producă curent în circuitul exterior, bobinajul indusului va fi străbătut de un curent, care creează în jurul său un cîmp magnetic propriu, ale cărei linii de forță sînt trasate în figura 16-9, *b*. Sensul acestor linii este de sus în jos, în întrefier. În timpul în care generatorul produce curent în circuitul exterior, există deci două cîmpuri magnetice, care dau un cîmp magnetic rezultat, ale cărui linii de forță au aspectul din figura 16-9, *c*. Axa *A—A* a cîmpului rezultat este înclinată cu unghiul

Fig. 16-10. Compunerea vectorială a cîmpurilor magnetice din generatorul de curent continuu.



α în sensul mișcării, față de axa inițială orizontală a cîmpului inductor (fig. 16-9, *a*). Compunerea vectorială a celor două cîmpuri este arătată în figura 16-10, unde vectorul \overline{OB} reprezintă cîmpul inductor, vectorul \overline{OC} , cîmpul propriu al indusului, iar vectorul \overline{OA} , cîmpul rezultat.

După cum se vede din figură, are loc o deformare sau o *distorsiune* a cîmpului magnetic. Acesta este un efect al fenomenului de reacție a indusului.

Cu cît curentul debitat de generator este mai intens, cu atît va fi mai puternic cîmpul propriu \overline{OC} al indusului și deci cu atît va fi mai mare unghiul de înclinare α .

Cîmpul propriu al indusului suprapunîndu-se peste cîmpul inductorului mărește saturația magnetică a oțelului care constituie indusul și deci reluctanța magnetică. Aceasta provoacă o micșorare a fluxului magnetic inductor și deci o micșorare a forței electromotoare E . Dar micșorarea forței electromotoare are drept consecință diminuarea tensiunii U . Aceasta este un alt efect al reacției indusului.

3. COMUTAȚIA

În figura 16-2 axa periilor coincide cu axa polilor. Dacă generatorul nu debitează curent, s-a văzut că axa polilor coincide cu axa cîmpului magnetic inductor. Cînd generatorul începe să producă curent, se observă apariția unor scînteii între colector și perii. Dacă se rotește axa periilor în sensul de rotație a indusului se observă o micșorare treptată a acestor scînteii iar la un anumit unghi de înclinare scînteile dispar complet. Dacă se rotește și mai mult axa periilor, scînteile încep să reapară.

Aceste scînteii produc pierderi de energie și totodată uzează foarte repede colectorul.

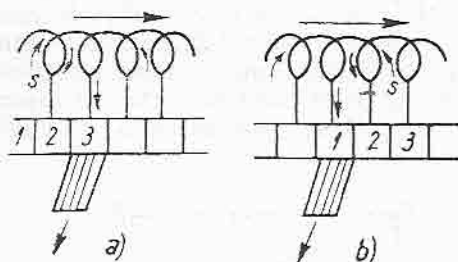


Fig. 16-11. Comutația :
a — poziția periei înainte
de comutație ; b — poziția
periei după comutație ;
1, 2, 3 — lamele.

În figura 16-11 s-au reprezentat o perie împreună cu câteva lamele de colector — presupus desfășurat — precum și câteva spire din bobinajul indusului.

Trecerea periei de la o lamelă la alta se numește *comutație*. Se presupune că indusul împreună cu colectorul se deplasează în sensul indicat de săgeata orizontală. Spira s se găsește în figura 16-11, a înainte de comutație, iar,

în figura 16-11, *b* după comutație. Astfel cum rezultă din figură, înainte de comutație, curentul are un anumit sens în spira *s*, iar după comutație, are sensul opus. Deci, în timpul comutației, curentul și-a schimbat sensul în spirală. Întrucât comutația se face într-un interval de timp foarte scurt, schimbarea sensului curentului trebuie să se facă rapid. Acestei schimbări de sens *i* se opune o forță electromotoare de autoinducție care apare în spirală și care tinde să mențină sensul inițial al curentului. În momentul când lamela spirei *s* părăsește peria, curentul prin spirală și lamelă nu este nul; pe de altă parte, tot în acest moment, rezistența electrică de trecere de la perie la lamela care o părăsește crește mult, deoarece suprafața de contact dintre perie și lamela se micșorează din ce în ce. Dacă se notează cu r_o această rezistență și cu i curentul care o parcurge, expresia $r_o i^2$ capătă o valoare suficient de mare, pentru ca, din cauza căldurii degajate prin efectul Joule-Lenz, mici particule de metal să se volatilizeze, devenind incandescente și să producă astfel scintele de comutație. Curentul din spira în comutație depinde de forța electromotoare care este indusă în această spirală de fluxul magnetic inductor. În figura 16-2, dacă dinamul nu debitează curent axa cîmpului magnetic rezultat (constituit numai din cîmpul inductor) coincide cu axa polilor, iar spira în comutație are planul său perpendicular pe direcția liniilor de forță, adică la fel ca și în spira din figura 7-2 poziția 1. S-a văzut în figura 7-2 că, pentru situația din poziția 1, forța electromotoare indusă în spirală este nulă. În consecință și în spira *s* din figura 16-11 nu se va induce forță electromotoare, și deci, curentul va fi nul. Neexistînd curent, nu pot apărea nici scînteii la colector.

Cînd generatorul începe să producă curent, axa cîmpului magnetic rezultat se rotește cu un unghi oarecare α (fig. 16-9, c); spira în comutație se găsește în acest caz față de liniile de forță, ca și spira din figura 7-2 poziția 2; pentru această poziție se vede însă în figura 7-2, c că există forță electromotoare de inducție în spirală. În consecință și în spira *s* din figura 16-11 va exista o forță electromotoare în timpul comutației și deci va exista un curent electric, astfel încît se produc scînteii la colector.

Dacă axa periilor se deplasează însă cu unghiul α în sensul de rotație al indusului, se obține ca spira în comutație să aibă din nou planul său perpendicular pe direcția cîmpului magnetic rezultat, astfel încît nu se mai produc scînteii la colector. Fiecare valoare a curentului produs de generator necesită însă o anumită rotație a axei periilor, care anihilează (anulează) scînteile la colector. În mod normal, sarcina unui generator poate să varieze în timpul funcționării sale, astfel încît ar fi necesar să se realizeze un reglaj continuu al axei periilor, pentru a nu avea scînteii la colector.

Deoarece reglajul continuu al axei periilor în raport cu sarcina este greu de realizat, se recurge la utilizarea unor poli speciali numiți *poli de*

comutație sau poli auxiliari. Aceștia (fig. 16-12) se așază între polii principali N , S . În jurul polilor de comutație n și s se înfășoară un bobinaj în serie cu circuitul prin care trece curentul produs de generator. Bobinajul polilor de comutație este astfel realizat încît cîmpul magnetic al acestor poli să fie egal și de sens contrar cîmpului magnetic propriu al indusului, care este cauza apariției scintei în colector. În figura 16-12, liniile de forță ale cîmpului magnetic al polilor de comutație sînt trasate punctat, iar cele ale cîmpului propriu al indusului, cu linii pline. Curentul din bobinajul polilor de comutație fiind același ca și curentul din indus, compensarea se face la orice sarcină.

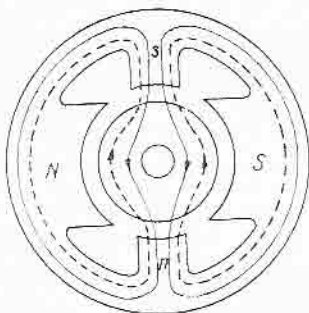


Fig. 16-12. Poli de comutație.

4. EXCITAȚIA GENERATOARELOR DE CURENT CONTINUU ȘI CARACTERISTICILE LOR EXTERNE

După cum s-a arătat, valoarea forței electromotoare E este proporțională cu fluxul magnetic inductor Φ . Acest flux depinde, la rîndul său, de curentul de excitație. S-a arătat, de asemenea, că tensiunea U la borne depinde de forța electromotoare E . În consecință, pentru a putea măări sau scădea

tensiunea la borne, trebuie să se mărească sau să se scadă valoarea forței electromotoare, adică să se mărească sau să se micșoreze fluxul magnetic inductor și, în consecință, curentul de excitație i . Pentru a se putea varia curentul de excitație, se intercalează în circuitul său o rezistență variabilă, care constituie *reostatul de excitație*. În figura 16-13 s-a notat cu R_i reostatul de excitație al unui generator de curent continuu cu excitația separată.

Dacă nu se manevrează R_i curentul de excitație, deci și forța electromotoare, se mențin constante.

Din relația :

$$U = E - rI$$

rezultă că, în gol, adică pentru $I=0$, tensiunea este egală cu forța electromotoare. Pe măsură ce curentul produs I crește, termenul rI crește, iar tensiunea U scade, atît din cauza termenului rI , cît și din cauza reacției indusului. Această scădere a tensiunii poate fi reprezentată grafic ușor printr-o curbă ca în figura 16-14. După cum reiese din figură, curba este ușor descendentă (coboritoare). Deoarece rezistența r este mică, iar efectul reacției

indusului poate fi compensat în mare parte, diferența dintre tensiunea în gol (egală cu forța electromotoare) și tensiunea la plină sarcină I_n este de numai 2...3% din tensiunea în gol.

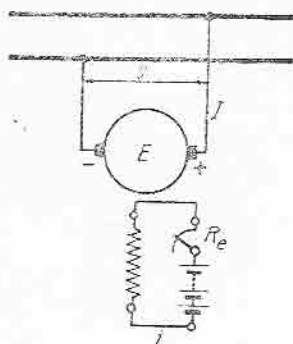


Fig. 16-13. Schema generatorului de curent continuu cu excitație separată.

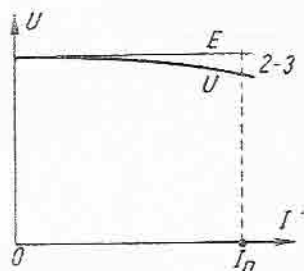


Fig. 16-14. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație separată.

Felul cum variază tensiunea în funcție de curentul debitat (celelalte elemente rămânând neschimbate) constituie o *curbă caracteristică* a generatorului. Deoarece această curbă caracteristică privește tensiunea la bornele circuitului exterior și curentul debitat în același circuit exterior se numește *caracteristică externă*.

Deoarece generatorul trebuie să funcționeze de obicei cu o tensiune constantă, este necesar ca pe măsură ce termenul rI crește, să se mărească și curentul de excitație i și prin urmare forța electromotoare E , spre a compensa căderea de tensiune. Pentru aceasta se micșorează rezistența reostatului de excitație R_e . Dacă sarcina generatorului scade, tensiunea la borne crește; pentru a o menține constantă, trebuie să se micșoreze curentul de excitație prin mărirea rezistenței reostatului de excitație.

Dacă generatorul este prevăzut cu excitație proprie, aceasta poate fi excitație *derivație* (sau paralel), *serie* și *mixtă* (compusă sau compound).

În figura 16-15 este reprezentată schema unui generator cu excitație derivație (circuitul de excitație se găsește legat în derivație față de circuitul principal). Presupunând turația constantă, pe măsură ce curentul I produs de generator crește, tensiunea U la borne scade, ca și în cazul excitației separate. Dar tensiunea U este aplicată și la bornele circuitului de excitație. Curentul de excitație conform legii lui Ohm :

$$i = \frac{U}{R_e + R'}$$

în care R_e este rezistența reostatului de excitație, iar R' , rezistența bobinajului de excitație. Relația arată că la o scădere a tensiunii U (datorită creșterii sarcinii), care produce o scădere a curentului i de excitație, apare o scădere suplimentară a tensiunii, deoarece scăderea curentului i provoacă o scădere a forței electromotoare E , și deci o nouă scădere a tensiunii U . În consecință, curba caracteristicii externe va fi mai pronunțat descendentă decât în cazul excitației separate, după cum arată în figura 16-16.

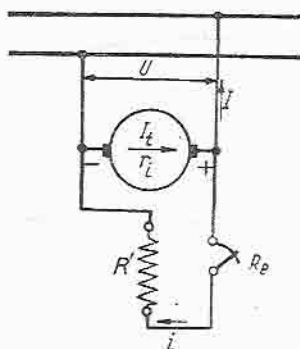


Fig. 16-15. Schema generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

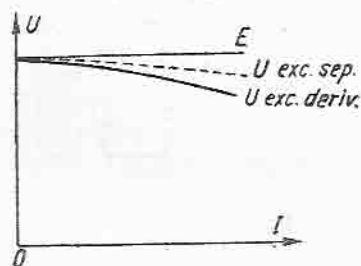


Fig. 16-16. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

Reglajul tensiunii se obține tot cu ajutorul unui reostat de excitație R_e , montat în circuitul de excitație (fig. 16-15). Generatoarele excitate în derivație sînt de obicei astfel construite, încît la primă sarcină, căderea de tensiune este de 4—5% din tensiunea în gol.

În figura 6—17 este reprezentat schematic un generator cu excitație serie (bobinajul de excitație este legat în serie cu circuitul principal al mașinii). Reostatul de excitație R_e este montat în derivație față de bobinajul de excitație.

Pentru a vedea cum variază tensiunea U în funcție de curentul I produs, se presupune deocamdată că mașinile funcționează în gol; tensiunea U_0 în gol este egală după cum se știe, cu forța electromotoare E . De asemenea se știe că forța electromotoare este proporțională cu fluxul magnetic inductor Φ , iar acesta este proporțional cu inducția magnetică B . Rezultă că variația forței electromotoare E , în funcție de curentul de excitație I , care este, la rîndul său, proporțional cu intensitatea cîmpului magnetic H , va fi redată grafic de o curbă, care va avea aceeași înfățișare ca și curba de magnetizare (curba de magnetizare arată cum variază inducția magnetică B în funcție de intensitatea cîmpului magnetic, H).

În figura 16—18, curba $U_0 = E$ arată această variație. Dacă se presupune acum că generatorul începe să producă curent, curentul de excitație este practic egal cu curentul produs de generator în circuitul de utilizare. În acest caz, însă tensiunea la bornele generatorului nu va mai fi egală

cu tensiunea dată de curba U_0 din figura 16—18, din cauza căderii de tensiune provocată de curentul I în circuitul indusului generatorului. Felul cum variază această cădere de tensiune rI — unde r este rezistența indusului și a polilor — poate fi reprezentată de dreapta rI din figura 16—18. În consecință, dacă din ordonatele curbei U_0 se scad ordonatele dreptei rI se obțin ordonatele curbei U , care arată cum variază tensiunea U în funcție de curen-

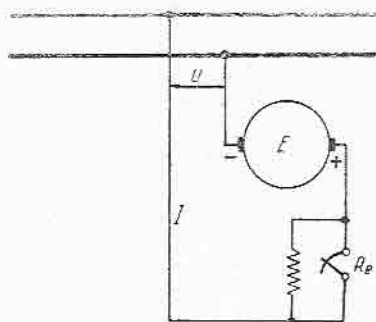


Fig. 16-17. Schema generatorului de curent continuu cu excitație serie.

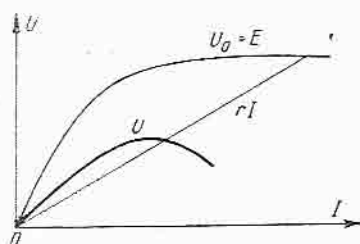


Fig. 16-18. Caracteristica externă a generatorului cu excitație serie.

mul produs, adică curba caracteristicii externe. Se vede că la început tensiunea U crește o dată cu curentul I produs, apoi trece printr-un maxim și după aceea începe să scadă.

Reostatul de excitație R_e se montează în derivație față de bobinajul de excitație, deoarece astfel, prin marea sa, se reglează numai fluxul magnetic inductor (dacă s-ar fi intercalat în serie cu excitația, ar fi fost parcurs de întregul curent I produs de generator, dînd loc la pierderi importante prin efectul Joule—Lenz).

În figura 16-19 este reprezentată schema unui generator cu excitație mixtă. Mașina are două bobinaje de excitație : unul în serie și altul în derivație. În figura 16-20, curba C_d arată variația tensiunii în funcție de

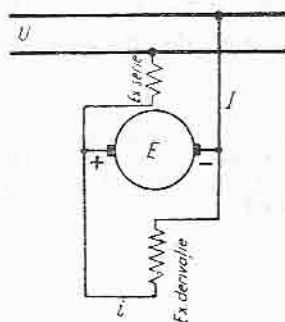


Fig. 16-19. Schema generatorului de excitație mixtă.

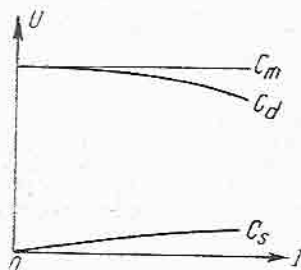


Fig. 16-20. Caracteristica externă a generatorului cu excitație mixtă.

curentul produs I , dacă ar exista numai excitația derivație, iar curba C , variația tensiunii, dacă ar exista numai excitația serie. Numărul de spire al excitației serie este suficient de redus pentru ca ordonatele curbei C_s , care reprezintă o creștere a tensiunii, să compenseze cît mai bine căderile de tensiune datorită curbei C_d , obținîndu-se curba rezultantă C_m . Bobinajul excitației serie are un număr redus de spire cu secțiune mare, deoarece este parcurs de întregul curent I , pe cînd bobinajul excitației derivație are un număr mare de spire cu secțiune mică, fiind parcurs de curentul de excitație i , mult mai mic.

Generatorul de excitație mixtă are deci posibilitatea de a menține tensiunea la borne practic constantă, cînd variază sarcina, fără a fi necesar un reostat de excitație.

În practică, se folosesc generatoare de curent continuu cu excitație derivație și mixtă.

Un tip special de generator de curent continuu este *generatorul pentru sudură*. Deoarece în timpul operației de sudură pot apărea curenți foarte mari, generatorul de sudură trebuie să aibă o astfel de caracteristică, încît să se limiteze valoarea curentului, iar în caz de întrerupere a arcului tensiunea să crească repede la valoarea de aprindere a arcului necesar sudurii. Tensiunea de mers în gol este de obicei de 40...70 V. Pentru a se obține caracteristicile necesare se realizează diferite tipuri constructive, dintre care se arată mai departe cîteva.

Cea mai simplă soluție o dă *generatorul cu excitație în derivație* cu număr redus de spire pe pol, sau avînd o bobină cu miez de oțel în circuitul principal de sudură.

O altă soluție o dă *generatorul cu excitație în serie diferențială*. Acest generator are o excitație separată și încă o înfășurare de excitație în serie cu curentul din indus astfel dispusă, încît să dea un flux magnetic contrar celui dat de excitația separată. Se menționează de asemenea generatorul cu *trei perii* și cu patru sau cu trei poli de o construcție specială, precum și generatorul *șunt magnetic*, la care polii și carcasa au de asemenea o construcție specială.

Aplicația 16—1. Forța electromotoare E a unui generator normal de curent continuu cu excitație în derivație (fig. 16-15) este de 230 V, rezistența r_i a indusului de $0,5 \Omega$, rezistența R' a circuitului de excitație de 150Ω , iar curentul I debitat în rețea 20 A. Care este tensiunea U la borne și curentul i de excitație?

Rezolvare. Se consideră relațiile:

$$E = U + r_i \cdot I_t$$

$$\text{și } i = \frac{U}{R'}$$

$$\text{unde: } I_t = I + i.$$

Înlocuindu-se valorile numerice, se obțin ecuațiile :

$$230 = U + 0,5(20 + i)$$

$$i = \frac{U}{150}$$

Rezolvând acest sistem de două ecuații cu două necunoscute, se găsește :

$$U = 219 \text{ V}$$

$$i = 1,46 \text{ A.}$$

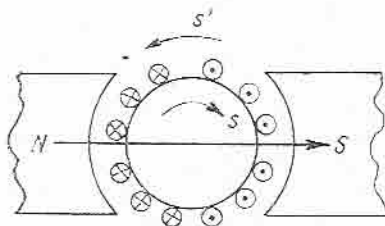
5. MERSUL ÎN PARALEL AL GENERATOARELOR DE CURENT CONTINUU

Pentru ca două generatoare de curent continuu să funcționeze în paralel, trebuie ca ele să aibă aceeași tensiune și să se lege polii pozitivi între ei, iar polii negativi între ei. Încărcarea generatorului de curent continuu care se leagă în paralel se obține prin mărirea excitației.

6. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MOTORULUI DE CURENT CONTINUU

În figura 16-21 s-au reprezentat schematic inductorul și indusul unei mașini de curent continuu. Se presupune că motorul care antrenează mașina o rotește în sensul indicat de săgeata s . Sensul curenților care apar în conduc-

Fig. 16-21. Indusul și inductorul mașinii de curent continuu.



toarele indusului este acela indicat pe figură. Conform legii lui Lenz (efectul se opune cauzei), forțele electromagnetice care se exercită asupra curenților din câmpul magnetic constituie un *cuplu electromagnetic rezistent* având sensul

săgeții s' . Se știe că puterea electrică P produsă de un generator cu forța electromotoare E este dată de formula:

$$P = EI,$$

în care I este curentul produs de generator.

Puterea mecanică care este dată generatorului de către motor este egală cu $C\Omega$, unde C este *cuplul motor* produs de motor la arbore, iar Ω — viteza unghiulară la arbore. Dacă se face abstracție de pierderile care au loc în generator, acest cuplu motor poate fi considerat egal cu cuplul electromagnetic rezistent. În acest caz, se poate scrie:

$$P = EI = C\Omega.$$

Din relația de mai înainte se deduce:

$$C = \frac{EI}{\Omega}.$$

Deoarece:

$$E = kNn\Phi$$

și

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60},$$

k fiind un factor de proporționalitate cunoscut, iar n — turația generatorului în rot/min, se poate scrie:

$$C = \frac{k N n \Phi I}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{60 k N}{2\pi} \Phi I = K \Phi I \quad (16.4)$$

unde s-a notat:

$$K = \frac{60 k N}{2\pi}.$$

Cuplul electromagnetic rezistent al unui generator de curent continuu este, așadar, proporțional cu fluxul magnetic inductor Φ și cu curentul produs I .

Dacă se presupune că se întrerupe legătura mecanică dintre motor și generator, dar se trimite *din afară* un curent electric în mașina de curent continuu, care să aibă același sens ca în figura 16-21, înseamnă că cuplul electromagnetic cu sensul s' rămâne. Acest cuplu este acum un cuplu *motor* electromagnetic, care rotește indusul mașinii în sensul s' , iar mașina, din generator, a devenit *motor*. Dacă la arborele acestui motor electric se cuplează de exemplu, o mașină-unealtă, aceasta va opune un cuplu *meccanic rezistent*, care este învins de cuplul motor electromagnetic al motorului.

În mașina electrică, devenită motor, ia naștere, prin fenomenul de inducție electromagnetică, o forță electromotoare E ca și în cazul generato-

rului electric. Această forță electromotoare poartă de obicei numele de *forță contraelectromotoare*, deoarece se opune tensiunii U aplicată la bornele motorului de la rețeaua electrică de alimentare. Valoarea forței contraelectromotoare este dată de aceeași relație $E = kNn\Phi$ ca și în cazul generatorului. De asemenea, din cele arătate rezultă că cuplul electromagnetic motor al motorului electric este dat de aceeași formulă ca și cuplul electromagnetic rezistent al generatorului, adică este proporțional cu fluxul magnetic inductor Φ și cu curentul absorbit I .

O mașină de curent continuu poate primi o energie mecanică, pe care o transformă în energie electrică; în acest caz, funcționează ca generator electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu rezistent. De asemenea, mașina de curent continuu poate primi energia electrică, pe care o transformă în energie mecanică; în acest caz mașina funcționează ca un motor electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu motor, cuplul rezistent fiind un cuplu mecanic la arbore datorit, de exemplu, unei mașini-unelte antrenate de motorul electric. Mașina de curent continuu este deci *reversibilă*, ca de altfel toate mașinile electrice rotative.

7. PORNIREA, REGLAREA TURĂȚIEI ȘI SCHIMBAREA SENSULUI DE ROTAȚIE LA MOTORUL DE CURENT CONTINUU

Tensiunea U care se aplică la bornele unui motor de curent continuu trebuie să compenseze atât forța contraelectromotoare E care ia naștere în motor, cât și căderea de tensiune rI în indus, adică

$$U = E + rI, \quad (16.5)$$

în care r este rezistența indusului, iar I — curentul absorbit.

Din această relație rezultă:

$$I = \frac{U - E}{r}.$$

În momentul pornirii, turația fiind mică și forța contraelectromotoare E este mică. Din această cauză și deoarece tensiunea U a rețelei de alimentare este constantă, curentul I absorbit de motor la pornire este cu mult mai mare decât în funcționare normală, când forța contraelectromotoare crește la valoarea ei normală. Pentru a se evita ca la pornire să se producă un șoc periculos de curent, se intercalează în serie cu indusul o rezistență variabilă, a cărei valoare se micșorează pe măsură ce motorul își mărește turația. La sfârșitul perioadei de pornire, rezistența este complet scoasă din

circuit. Această rezistență variabilă poartă numele de *reostat de pornire* (nu trebuie confundat cu reostatul de excitație, care se găsește în circuitul inductorului).

S-a văzut care este rolul reostatului de excitație la generator. La motor, el îndeplinește un alt rol, după cum se va arăta mai departe. Din relația:

$$E = k N n \Phi$$

se deduce:

$$n = \frac{E}{k N \Phi} = \frac{U - rI}{k N \Phi}.$$

Deoarece termenul rI este practic neglijabil (cîteva procente față de U) se poate scrie:

$$n = \frac{U}{k N \Phi}. \quad (16.6)$$

Dat fiind că motoarele de curent continuu funcționează în mod normal sub o tensiune U constantă, rezultă că turația n este invers proporțională cu fluxul inductor Φ . Prin variația acestui flux se poate deci obține un reglaj al turației. Variația fluxului se obține însă prin manevrarea reostatului de excitație. În consecință, acest reostat servește la *reglarea turației motorului*. Pentru a se mări turația, trebuie să se micșoreze fluxul, adică curentul de excitație și invers.

S-ar putea ca, păstrîndu-se fluxul constant, să se obțină un reglaj al turației prin variația tensiunii la bornele motorului cu ajutorul reostatului de pornire. Acest procedeu nu se utilizează însă în practică, deoarece este neeconomic, dat fiind că reostatul de pornire este străbătut de întregul curent absorbit de motor și provoacă o importantă pierdere de energie.

Rezultă că la pornirea motorului este necesară o rezistență mare în circuitul indusului, pentru a se reduce curentul absorbit de indus și o rezistență mică în circuitul de excitație pentru a avea un flux mare și, în consecință, un cuplu de pornire puternic. Pe măsură ce motorul își mărește turația, se scot rezistențele din reostatul de pornire și se introduc rezistențe în reostatul de excitație pînă cînd se ajunge la funcționarea normală.

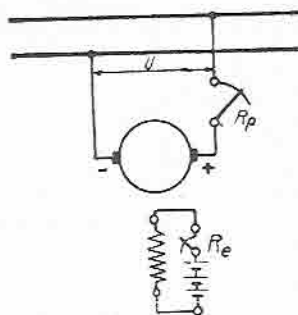
Trebuie avut totdeauna grijă, atît timp cît motorul este sub tensiune, să nu se întrerupă curentul de excitație, deoarece curentul absorbit de indus crește brusc la valori foarte mari (dispare forța contraelectromotoare), iar motorul *se umbalează* (își mărește foarte mult turația).

S-a arătat că cuplul electromagnetic al motorului este proporțional cu fluxul inductor Φ și cu curentul absorbit I . Sensul de rotație dat de acest cuplu corespunde sensurilor celor două mărimi Φ și I . Pentru a schimba sensul de rotație al motorului trebuie să se schimbe între ele fie legăturile la bornele circuitului de excitație (prin aceasta se schimbă sensul fluxului Φ), fie legăturile la bornele indusului (prin aceasta se schimbă sensul curentului absorbit I). De obicei se schimbă sensul curentului de excitație, care are o valoare mai mică.

8. DIFERITE TIPURI DE MOTOARE DE CURENT CONTINUU ȘI CARACTERISTICILE LOR MECANICE

Ca și generatoarele de curent continuu, motoarele de curent continuu pot avea diferite feluri de excitație. În figura 16-22 este reprezentată schema unui motor cu excitație separată. La un motor interesează totdeauna să se cunoască cum variază turația n în funcție de cuplul C (caracteristica mecanică), atunci când celelalte elemente rămân neschimbate.

Fig. 16-22. Schema motorului de curent continuu cu excitație separată.



Se cunosc relațiile :

$$n = \frac{U - rI}{k N \Phi}.$$

și

$$C = K \Phi I.$$

Din a doua relație rezultă :

$$I = \frac{C}{K \Phi}.$$

Introducând această valoare în prima relație, se obține :

$$n = \frac{U}{k N \Phi} - \frac{r}{k K N \Phi^2} C. \quad (16.7)$$

Deoarece tensiunea U aplicată motorului este constantă, iar fluxul Φ este de asemenea constant, relația de mai înainte arată că pe măsură ce cuplul C crește, turația n scade. Curba de variație a turației are aspectul din figura 16-23. O dată cu creșterea cuplului, turația scade puțin, astfel încît la cuplul nominal de plină sarcină, scăderea este de 2...3% din turația n_0 în gol. Motorul are deci o turație practic constantă.

De obicei nu este nevoie ca excitația motorului să se ia de la o sursă separată, dat fiind că există sursa care alimentează indusul motorului.

De câte ori este nevoie de un motor de curent continuu cu turație practic constantă (la mașini-unelte, ventilatoare, pompe și altele), se întrebuințează motorul cu excitație derivație, a cărui schemă este redată în figura 16-24. De aici se vede că circuitul de excitație este legat în derivație față de circuitul

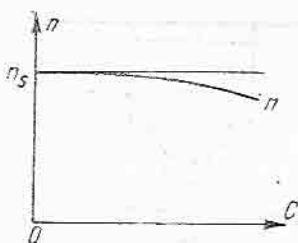


Fig. 16-23. Caracteristica mecanică a motorului de curent continuu cu excitație separată.

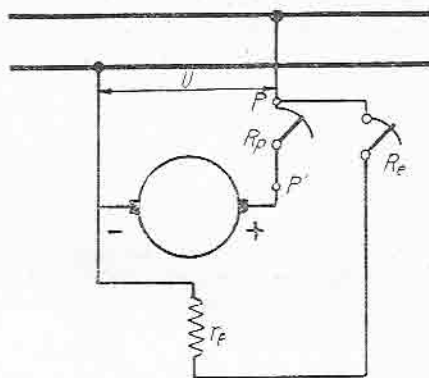


Fig. 16-24. Schema motorului de curent continuu cu excitație derivație.

principal al indusului. Deoarece tensiunea U a rețelei de alimentare este constantă, curentul de excitație, deci și fluxul inductor poate fi de asemenea menținut constant, astfel încît caracteristica mecanică a acestui motor este identică cu aceea a motorului cu excitație separată. Scăderea de turație, între mersul în gol și mersul la plină sarcină, este de 2...3%.

La motorul cu excitație derivație trebuie totdeauna observat ca reostatul de excitație R_e să fie legat într-un punct P (fig. 16-24) între reostatul de pornire R_p și rețeaua de alimentare. Legarea într-un punct ca P' , de exemplu este greșită, deoarece în acest caz, curentul de excitație, deci fluxul inductor, este influențat de poziția reostatului R_p .

În figura 16-25 este reprezentată schema unui motor de curent continuu cu excitație serie, la care bobinajul de excitație se găsește legat în serie cu circuitul principal al indusului.

Se consideră relațiile date mai înainte :

$$C = K \Phi I$$

$$n = \frac{U}{k N \Phi} = \frac{k_1}{\Phi},$$

în care s-a notat :

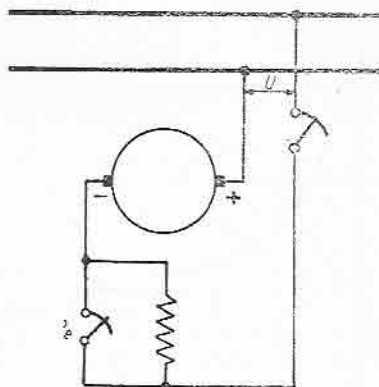
$$\frac{U}{k N} = k_1.$$

Deoarece curentul principal I trece practic și prin bobinajul de excitație, acest curent poate fi considerat proporțional cu fluxul inductor Φ pe care-l produce, adică :

$$I = k_2 \Phi$$

unde k_2 este un factor de proporționalitate.

Fig. 16-25. Schema motorului de curent continuu cu excitație serie.



Rezultă :

$$C = K k_2 \Phi^2 = k_3 \Phi^2$$

dacă se notează :

$$k_3 = K k_2$$

În consecință :

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{k_2}} \sqrt{C} = k_4 \sqrt{C}.$$

unde s-a notat :

$$\frac{1}{\sqrt{k_2}} = k_4.$$

Introducându-se ultima valoare obținută pentru Φ în expresia de mai înainte a turației se obține :

$$n = \frac{k_1}{k_4 \sqrt{C}} = \frac{k_5}{\sqrt{C}}$$

unde s-a notat :

$$\frac{k_1}{k_4} = k_5.$$

(16.8)

Relația de mai înainte a turației n în funcție de cuplul C arată că unui cuplu mic îi corespunde o turație mare și, pe măsură ce cuplul (sarcina) crește, turația scade. În figura 16-26 este reprezentată curba corespunzătoare a caracteristicii mecanice. Această caracteristică arată că la pornirea motorului cînd turația n este mică, cuplul este puternic. Din această cauză, asemenea motoare se utilizează în special la tracțiune (tramvaie și locomotive electrice) și la unele macarale unde condițiile de serviciu cer cuplu mare la pornire.

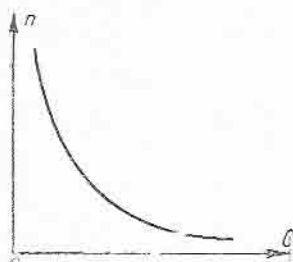


Fig. 16-26. Caracteristica mecanică a motorului serie.

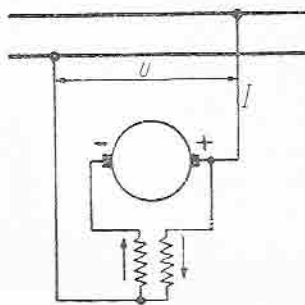


Fig. 16-27. Schema motorului de curent continuu cu excitație mixtă diferențială.

În figura 16-27 se arată schema motorului cu excitație mixtă sau compound. Un asemenea motor are două circuite de excitație, și anume unul în derivație și altul în serie, față de circuitul principal al indusului. Aceste două circuite sînt astfel bobinate, încît fluxurile magnetice respective să aibă sensuri contrarii. O asemenea excitație se numește *diferențială*. În acest caz, pe măsură ce cuplul motorului crește, se obține ca scăderea de turație datorită excitației derivație să fie compensată de excitația serie. Într-adevăr, cînd cuplul crește turația are tendința să scadă; creșterea cuplului corespunde însă unui curent I absorbit de indus mai mare. Deoarece I crește, fluxul serie crește și micșorează fluxul derivație, astfel încît fluxul rezultat este mai mic și, în consecință, turația crește pentru a reveni la valoarea inițială. Motoarele cu excitație mixtă diferențială au însă dezavantajul de a nu avea o funcționare suficient de stabilă, și de aceea sînt rar utilizate.

Cînd cele două bobinaje de excitație sînt astfel realizate, încît produc fluxuri magnetice de același sens, excitația se numește *adițională* și se utilizează atunci cînd este necesar un cuplu mare de pornire sau o micșorare importantă a turației o dată cu creșterea sarcinii.

Aplicația 16-2. Un motor electric bipolar de curent continuu cu excitație în derivație (fig. 16-24) are o putere la arbore $P=40$ kW și este alimentat de la rețea cu tensiunea $U=200$ V. Randamentul η al motorului este 0,84 numărul N al conductoarelor la periferia indusului este 800, rezistența r_i a indusului este 0,1 Ω , rezistența r a circuitului de excitație este 50 Ω , iar fluxul magnetic inductor $\Phi=1,5 \cdot 10^{-2}$ Wb. Care este cuplul C și turația n a motorului?

Rezolvare. Puterea cerută de motor de la rețea este:

$$P_r = \frac{P}{\eta} = \frac{40\,000}{0,84} = 47\,619 \text{ W.}$$

Curentul total absorbit de la rețea:

$$I_t = \frac{P_r}{U} = \frac{47\,619}{200} = 238,1 \text{ A.}$$

Curentul de excitație:

$$i = \frac{U}{r_e} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A.}$$

Deoarece:

$$I_t = I + i,$$

rezultă:

$$I = I_t - i = 238,1 - 4 = 234,1 \text{ A.}$$

Cuplul electromagnetic al motorului este:

$$C = \frac{N}{2\pi} \Phi \cdot I = \frac{800}{2 \cdot 3,14} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 234,1 = 447,32 \text{ Nm} = 45,6 \text{ kgfm.}$$

Forța contraelectromotoare:

$$E = U - r_t \cdot I = 200 - 0,1 \cdot 234,1 = 176,59 \text{ V.}$$

Deoarece:

$$E = N \cdot n \cdot \Phi$$

rezultă:

$$n = \frac{E}{N \cdot \Phi} = \frac{176,59}{800 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}} = 14,71 \text{ rot/s} = 883 \text{ rot/min.}$$

9. CONSTRUCȚIA MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

În figura 16-28 se arată modul în care sînt fixați polii de carcasa unei mașini cu patru poli. La mașinile moderne, carcasa este de oțel, turnat sau sudat; la mașinile mai vechi, se execută din fontă. Polii se fabrică din oțel cu mare permeabilitate magnetică. Fiecare pol are la extremitatea dinspre întrefier o talpă, care îmbrățișează indusul și permite o distribuie bună a liniilor de forță în întrefier.

Indusul generatorului se fabrică tot din oțel cu mare permeabilitate magnetică. El este constituit din tole izolate, în scopul micșorării pierderilor prin curenți turbionari. Conductoarele sînt așezate în creștături pe indus.

Accese creștături pot fi *deschise* (fig. 16-29, a), *semideschise* (fig. 16-29, b) sau *închise* (fig. 16-29, c). Cele mai obișnuite sînt creștăturile deschise.

Conductoarele nu se bobinează în general direct pe indus, ci se formează mai întîi bobine, care se fixează apoi în creștăturile indusului și apoi se leagă capetele bobinelor. În figura 16-30 se vede o astfel de bobină în momentul introducerii în creștăturile respective ale indusului.

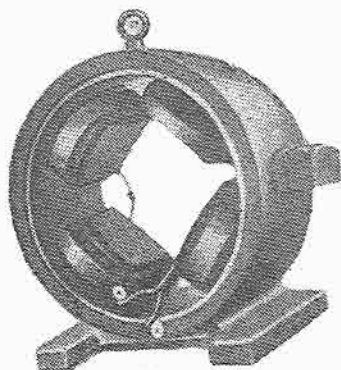


Fig. 16-28. Fixarea polilor de carcasa mașinii.

Colectorul este solidar pe același ax cu indusul. În figura 16-30 colectorul este reprezentat în dreapta indusului. El este constituit dintr-o serie de lamele din cupru tare, tras. Lamelele formează un inel cilindric (fig. 16-31). Fiecare lamelă este fixată de butuc printr-un dispozitiv în formă de coadă de rândunică. Lamelele sînt izolate atît între ele, cît și față de butuc.

Periile se confecționează din cărbune tare, grafit sau bronz grafitat și servesc la culegerea curentului. Aceste peri sînt fixe în spațiu, fiind legate de stator prin intermediul unui suport. De obicei există un

dispozitiv, care permite ca periile să se poată totuși roti cu un anumit unghi în jurul colectorului. Presiunea pe care trebuie s-o exercite asupra colectorului pentru a se obține un contact bun se realizează cu ajutorul unui resort reglabil, care apasă asupra periei (fig. 16-32).

Figurile 16-33 și 16-34 reprezintă aspectul general al unei mașini de curent continuu.

În Republica Socialistă România se construiesc mașini de curent continuu, cele mai importante fiind generatoarele și motoarele de curent continuu folosite pe locomotivele electrice, Diesel-electrice, precum și motoarele pentru tramvaie și troileibuze.



Fig. 16-29. Creștături de indus:

a — deschise ; b — semideschise ; c — închise.

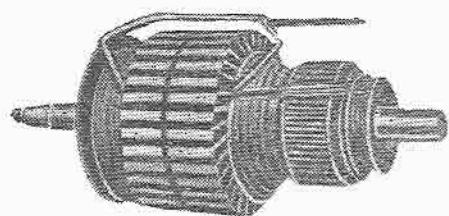


Fig. 16-30. Bobină în curs de montare pe indus.

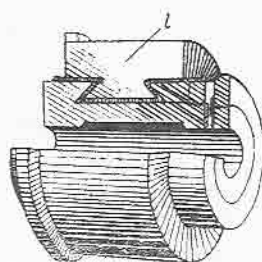


Fig. 16-31. Secțiune prin colector.

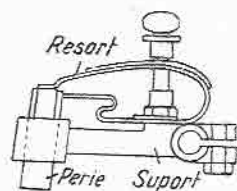


Fig. 16-32. Perie cu suport.

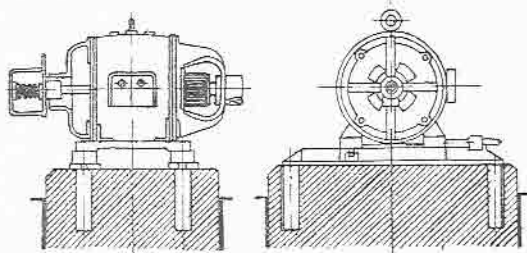


Fig. 16-33. Mașină de curent continuu.

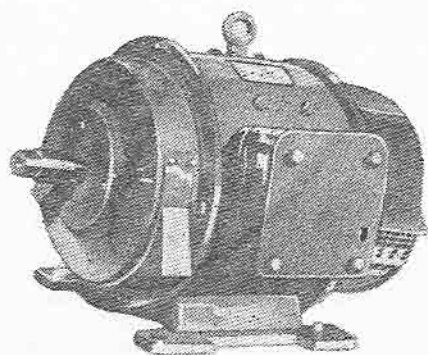


Fig. 16-34. Mașină de curent continuu fabricată în Republica Socialistă România.

CAPITOLUL XVII

MOTOARE DE CURENT ALTERNATIV CU COLECTOR. ÎNȚREȚINEREA ȘI DEFECTELE MAȘINILOR ELECTRICE

1. MOTORUL MONOFAZAT SERIE

Dacă un motor de curent continuu cu excitație serie este alimentat cu curent alternativ sub o tensiune eficace U , va putea da la arbore un cuplu C , proporțional cu fluxul magnetic inductor Φ și cu curentul absorbit I adică:

$$C = K \Phi I.$$

Deoarece fluxul Φ poate fi considerat proporțional cu curentul absorbit, cuplul va fi proporțional cu pătratul curentului și deci va fi mereu pozitiv, adică de același sens, chiar dacă curentul este alternativ. De aceea, motorul poate funcționa și cu curent alternativ. Deosebirea constructivă față de motorul serie de curent continuu constă în faptul că polii sînt din tole, pentru a reduce curenții turbionari ce se produc din cauza cîmpului magnetic alternativ.

Comutația la motorul monofazat serie cu colector se realizează mai greu decît la motorul serie de curent continuu. Dificultatea crește cu cît frecvența curentului alternativ de alimentare este mai mare.

Aceste motoare au o caracteristică mecanică asemănătoare cu aceea a motoarelor serie de curent continuu. Din această cauză, ele se utilizează mai ales în fracțiunea electrică.

2. MOTORUL MONOFAZAT 3 CU REPULSIE

În figura 17-1 este reprezentat schematic motorul cu repulsie. Rotorul său este identic cu indusul unei mașini de curent continuu, cu deosebirea că periile sînt legate în scurtcircuit. Statorul este asemănător cu acela al unui motor asincron sau sincron monofazat și se leagă la rețea. Axa periiilor trebuie să facă cu axa cîmpului magnetic statoric un unghi diferit de 90° . Dacă la un moment dat, sensul cîmpurilor magnetice, rotorice și statorice, sînt acelea din figură, aceste cîmpuri comportîndu-se ca doi magneți, asupra rotorului se va produce o forță de repulsie în sensul săgeții. Dacă se schimbă sensul cîmpului statoric, se schimbă și sensul cîmpului rotorice, astfel încît forța de repulsie se menține avînd ca efect învîrtirea rotorului în sensul săgeții. Motorul are un cuplu de por-

nire puternic. Prin rotirea axei periiilor se poate regla turația. Acest motor se întrebuințează în cazurile în care este necesar un reglaj economic și în limite largi ale turației pentru puteri mici și mijlocii, ca de exemplu în industria textilă, aparate electromedicale etc.

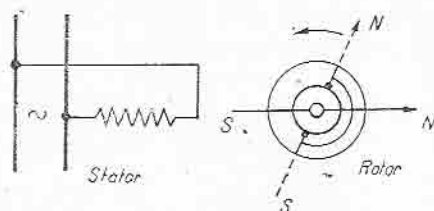


Fig. 17-1. Schema motorului monofazat cu repulsie.

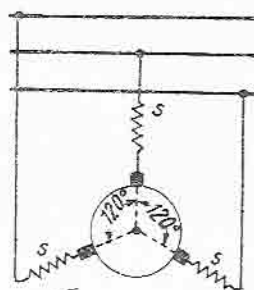


Fig. 17-2. Schema motorului trifazat serie cu colector.

3. MOTORUL TRIFAZAT SERIE CU COLECTOR

Statorul acestui motor este asemănător celui al unui motor asincron trifazat. Rotorul este construit ca și indusul unei mașini de curent continuu, dar are trei perii așezate la 120° pe periferia colectorului (fig. 17-2). Fiecare fază statorică S este legată cu o extremitate la rețeaua de alimentare și cu celelalte la cîte o perie. Prin rotirea în mod simultan a celor trei perii, se obține reglajul turației între 50% și 120 % din viteza de rotație a cîmpului magnetic învîrtitor.

Motorul se utilizează atunci cînd este necesar un anumit reglaj economic, al turației și un cuplu puternic de pornire ca, de exemplu: la mașini de extracție, ventilatoare, compresoare.

4. MOTORUL TRIFAZAT DERIVAȚIE CU COLECTOR

În figura 17-3 este reprezentat schematic acest motor. Statorul S este asemănător celui al unui motor asincron trifazat și se leagă la rețeaua de alimentare. Rotorul R este asemănător unui indus de generator de curent continuu, dar are trei perii la 120°

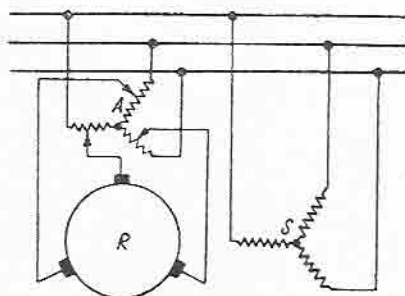


Fig. 17-3. Schema motorului trifazat derivație cu colector.

pe periferia colectorului. Cele trei perii sînt, de asemenea, legate la rețeaua de alimentare prin intermediul unui autotransformator trifazat A. Turația se reglează prin schimbarea prizelor de legătură la autotransformator. Motorul se utilizează în cazurile unde este necesar un reglaj economic al turației.

5. ÎNTREȚINEREA ȘI DEFECTELE MAȘINILOR ELECTRICE

Noțiuni asupra reviziilor periodice. Mașinile electrice trebuie controlate și verificate în fiecare zi de către personalul însărcinat cu aceasta. Operațiile ce se efectuează pentru control cuprind în special următoarele :

— verificarea încălzirii lagărelor și carcasei cu termometrul sau cel puțin cu mîna ;

— verificarea cantității de ulei din lagăre și completarea uleiului, dacă este necesar ;

— curățirea cu bumbac de șters și prin suflare cu aer (foale de mînă) a carcasei, bobinajelor și periilor cu suporturi ;

— curățirea cu pînză sticlă foarte fină a colectorului ;

— observarea scinteiilor la colector (pentru lucru de lungă durată, nu trebuie să se producă asemenea scinteii, sau cel mult să fie foarte reduse).

La control se pot constata defecte de importanță diferită. Defectele mici se remediază, pe loc, de cele mai multe ori fără a opri mașina. Există unele defecte mai mari, a căror reparație nu poate fi efectuată în timpul lucrului, deoarece ar necesita o întrerupere prea lungă, dar care permit funcționarea mașinii pînă cînd procesul tehnologic respectiv permite oprirea ei. În acest caz, mașina este trimisă la reparat după oprire.

La defectele grave, mașina se oprește imediat pentru a se evita avarii mai mari, fiind apoi luată în reparație.

La cel puțin trei luni și cel mult un an se face o *revizie periodică* a mașinii, termenele fiind planificate. O parte din operațiile de verificare și control se execută pe mașina nedemontată, ca, de exemplu, verificarea izolației, măsurarea întrefierului și controlul jocului axial la lagărele cu fricțiune. Apoi mașina se demontează în conformitate cu un proces tehnologic stabilit, se verifică și se controlează cu de-amănuntul toate părțile electrice și mecanice, pentru ca cele care au nevoie să fie reparate, iar piesele mai mici, înlocuite.

După aceasta se procedează la remontarea mașinii, care se realizează de asemenea după un proces tehnologic stabilit.

După montare, mașina se curăță cu bumbac de șters și prin suflare cu aer. Apoi se măsoară întrefierul și se verifică izolația. După ce se obțin rezultate bune, mașina se fixează pe fundație (pe glisiere) sau console și se face proba de funcționare în gol (fără sarcină). De asemenea, după obținerea unor bune rezultate, se verifică dacă se rotește în sensul necesar, făcîndu-se apoi cuplarea mașinii, după care se dă în funcțiune.

Toate operațiile de mai înainte se execută numai de către personal de specialitate (electricieni), însărcinat anume cu îndeplinirea lor.

În general, la mașinile electrice, pot să apară următoarele defecte :

- Scintei la periile colectorului sau ale inelelor de contact.
- Încălzirea anormală a întregii mașini sau numai a unui organ (bobinaj, colector, perii, inele etc.).
- Funcționare nestabilă, deși sarcina se păstrează constantă.
- Demagnetizarea sau magnetizarea inversă a generatoarelor de curent continuu.
- Motoarele nu pornesc sau funcționează cu turație anormală.
- Atingere între rotor și stator.
- Vibrații și zgomote anormale.
- Arcuri electrice între inelele de contact (la motoarele asincrone cu reostat de pornire sau la generatoarele sincrone cu excitație proprie).
- Curenți electrici în arbore și lagăre (de obicei la mașinile mari de curent alternativ).
- Deplasare axială anormală a rotorului ș.a.

Imediat ce au fost observate asemenea defecte trebuie anunțat personalul de specialitate respectiv, pentru a se lua măsurile de remediere necesare.

CAPITOLUL XVIII

CONVERTIZOARE ȘI REDRESOARE

Se numește de obicei *convertizor* o mașină sau un grup de mașini care transformă un gen de curent electric în alt gen; convertizorul poate realiza schimbarea frecvenței, a tensiunii, a numărului de faze, felului curentului (continuu sau alternativ) etc.

Convertizoarele pot fi grupate în două mari categorii: *rotative* și *statice*. Convertizoarele statice mai sînt cunoscute și sub denumirea de *redresoare*.

1. CONVERTIZOARE ROTATIVE

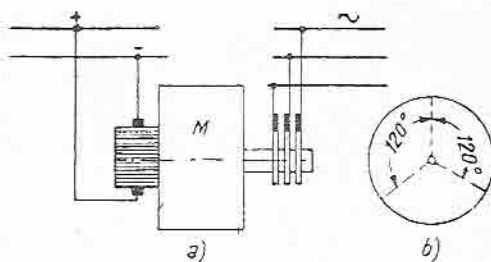
Un convertizor rotativ poate fi constituit din două mașini electrice rotative cuplate, una funcționînd ca motor și cealaltă ca generator. Motorul primește energia electrică sub forma sub care este disponibilă și antrenează generatorul, care produce energie electrică sub forma care este necesară. Un astfel de grup de mașini (sau agregat) constituie un *convertizor motor-generator*. Cu ajutorul lui se poate, de exemplu, transforma curentul continuu în curent alternativ sau invers. De asemenea, se poate transforma curentul trifazat de o anumită frecvență în curent monofazat de altă frecvență.

În Republica Socialistă România se construiesc unele tipuri de convertizoare rotative constituite dintr-un motor asincron trifazat și un generator de curent continuu, avînd același ax sau axe cuplate.

Există și mașini unice (cu o singură carcasă), care pot transforma curentul continuu în curent alternativ, și invers. Principiul de funcționare al unei asemenea mașini, numită *comutatoare electrică* rezultă din figura 18-1. În figura 18-1, *a*, *M* reprezintă o mașină de curent continuu avînd colectorul în stînga, iar periile colectorului legate la o rețea de curent continuu. Mașina funcționează ca orice motor de curent continuu. Pe capătul din dreapta al arborelui se găsesc trei inele metalice izolate între ele și față de arbore. Pe fiecare inel freacă cîte o perie, iar cele trei perii sînt legate la o rețea trifazată. Inelele sînt legate cu trei puncte de pe bobinajul indusului, situate la 120° între ele (fig. 18-1, *b*). Cînd mașina se rotește, între cele trei inele apar trei

tensiuni trifazate, astfel încît prin intermediul inelelelor și al periilor respective mașina poate produce curent trifazat și alimentează rețeaua trifazată. Comutatoarea descrisă primește energie sub formă de curent continuu și dă energie sub formă de curent alterativ trifazat. Comutatoarea este rever-

Fig. 18-1. Schema constructivă a comutatoarei.



sibilă. Ea poate fi alimentată cu curent trifazat prin cele trei inele și se învîrtește ca un motor sincron, iar la periile care freacă pe colector produce curent continuu, ca un generator de curent continuu.

2. REDRESOARE

a. Redresorul cu mercur

În figura 18-2 se consideră un vas V în care s-a făcut vid. În porțiunea notată cu C se găsește mercur, iar A este o piesă de fier sau de grafit. T reprezintă un transformator, la primarul căruia se aplică tensiunea alternativă avînd valoarea eficace U_a . Printr-un mijloc oarecare se încălzește pînă la incandescență o porțiune din partea superioară a mercurului. Între piesa A numită anod și mercurul care constituie catodul există o diferență de potențial și un cîmp electric alternativ. Cînd potențialul anodului este pozitiv față de catodul de mercur, acesta emite electroni — particule de electricitate negativă — care se dirijează spre anodul pozitiv. Această smulgere a electronilor din mercur este posibilă numai dacă mercurul este încălzit pînă la incandescență. Electronii lovesc, în drumul lor spre anod, moleculele de vapori de mercur care există în vas. Prin ciocnirile care au loc, unii electroni din atomii moleculelor sînt scoși din acești atomi, fiind apoi și ei atrași de anod.

În felul acesta se produce o circulație de electroni în sensul catod-anod în interiorul vasului. În același timp, particulele care au pierdut electronii și care constituie ioni pozitivi, sînt atrase de catodul negativ. Această dublă circulație de electroni într-un sens și ioni pozitivi în sens contrar constituie un arc electric, care permite să treacă un curent I_c în circuitul numit de utilizare și care cuprinde un receptor oarecare, după cum se arată în figură.

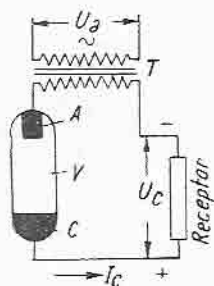


Fig. 18-2. Redresor cu mercur cu un anod.

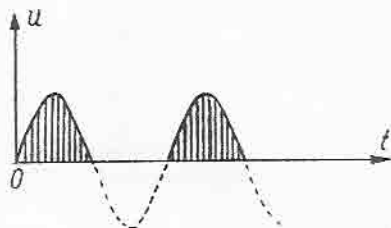


Fig. 18-3. Tensiunea redresată cu pulsații intermitente.

Arcul se stinge și curentul se întrerupe cînd anodul se găsește la un potențial negativ față de catod, deoarece din anod nu pot fi atrași electroni spre catod.

În figura 18-3 s-a trasat curba care arată variația tensiunii U din secundarul transformatorului în funcție de timp. Arcul, deci și curentul I_c , durează numai în intervale de timp cînd tensiunea U are valori pozitive, adică pentru porțiunile hașurate din figură. Tensiunea U_c de la bornele circuitului de utilizare are forma unor pulsații pozitive și intermitente. Curentul I_c are și el o formă asemănătoare. Acest curent se numește curent *redresat*, iar aparatul se numește *redresor cu mercur*.

În figura 18-4 s-a considerat un vas V cu doi anodi A_1 și A_2 . Circuitul de utilizare este legat cu un capăt la catodul C , iar cu celălalt capăt, la mijlocul secundarului transformatorului T .

Cînd tensiunea alternativă aplicată transformatorului are, de exemplu, sensul săgeții pline, anodul A_1 este pozitiv față de catod, iar cînd tensiunea are sensul săgeții punctate, anodul A_2 este pozitiv față de catod. În consecință, va exista un arc electric la fiecare alternanță a curentului alternativ. Tensiunea U_c la bornele circuitului de utilizare are forma arătată prin linia plină din figura 18-5. S-a obținut o redresare mai bună, deoarece se utilizează

ambele alternanțe. Inductivitatea L (fig. 18-4) din circuitul de utilizare face ca pulsațiile curentului I_c să fie mai nivelate (fig. 18-6), astfel încît curba curentului se apropie de aceea a unui curent continuu.

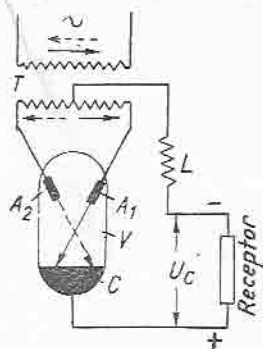


Fig. 18-4. Redresor cu doi anodi.

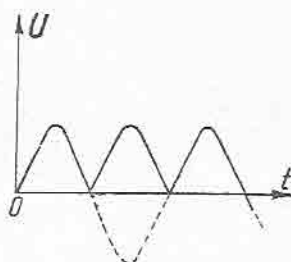


Fig. 18-5. Redresarea ambelor alternanțe.

Redresoarele descrise mai înainte sînt monofazate. Pentru puteri mai mari se utilizează însă redresoare trifazate (fig. 18-7). Transformatorul T al redresorului este trifazat, iar redresorul are trei anodi A_1 , A_2 și A_3 . Cele trei tensiuni trifazate U_1 , U_2 și U_3 , pe care secundarul transformatorului

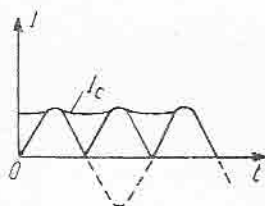


Fig. 18-6. Netezirea pulsațiilor.

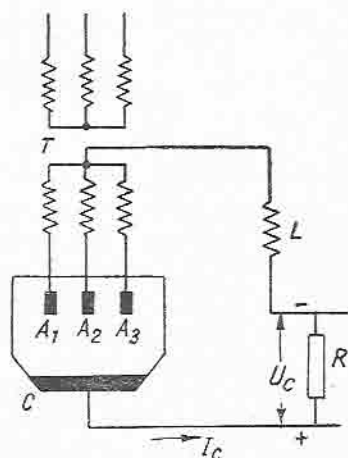


Fig. 18-7. Schema redresorului trifazat.

le aplică asupra anozilor, sînt reprezentate grafic în figura 18-8. Se consideră de exemplu tensiunea U_1 corespunzătoare anodului A_1 . Arcul anodului A_1 funcționează pentru porțiunea trasată mai gros a curbei corespunzătoare tensiunii U_1 .

În punctul 2, tensiunea U_2 a anodului A_2 devine mai mare decât tensiunea U_1 , astfel încît arcul sare de pe anodul A_1 pe anodul A_2 . În punctul 3, tensiunea U_3 a anodului A_3 devine mai mare decât tensiunea U_2 , iar arcul sare de pe anodul A_2 pe anodul A_3 ș.a.m.d. Tensiunea redresată U_c are forma arătată prin curba cu trăsături mai groase din figura 18-8, adică este mult

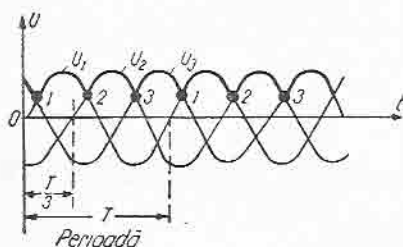


Fig. 18-8. Redresarea tensiunilor trifazale.

mai apropiată de o tensiune continuă. Curentul redresat I_c are și el o formă apropiată de aceea a unui curent continuu, cu atît mai mult cu cît în circuitul său se introduce bobina L pentru nivelarea undulațiilor.

Spre a se nivela și mai mult undulațiile tensiunii redresate, se utilizează redresoare cu un număr mai mare de anozii, de exemplu 6. În acest caz, secundarul transformatorului are șase faze.

Relația dintre tensiunea pe fază U_r a rețelei trifazate de alimentare și tensiunea medie redresată U_c este următoarea :

$$U_c = \frac{\sqrt{2}}{k} U_r \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n},$$

în care :

k este raportul de transformare al transformatorului ;

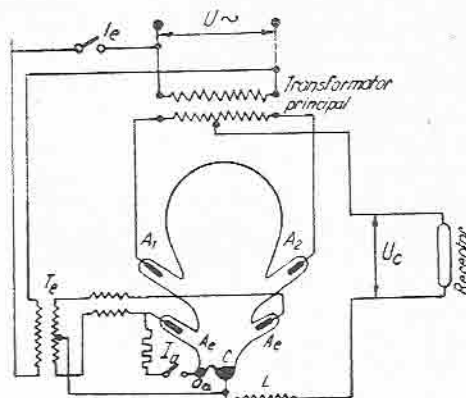
n — numărul de anozii, sau de faze în secundarul transformatorului.

În practică, vasul redresoarelor este confecționat din sticlă pentru puteri mai mici și din oțel pentru puteri mari.

În figura 18-9 este reprezentată schema constructivă a unui redresor monofazat cu vas de sticlă. Redresorul are doi anozii principali A_1 și A_2 , astfel încît redresează ambele alternanțe. Pentru a se aduce catodul de mercur C la temperatura necesară, se pune în funcțiune anodul de aprindere a_a , închizîndu-se întreruptorul I_a și înclinîndu-se astfel vasul, încît mercurul anodului de aprindere a_a să vină în contact cu mercurul catodului C . În felul acesta se produce un mic arc inițial. Pentru ca porțiunea incandescentă a catodului, numită *pata catodică*, să se mențină și la sarcini mici, sînt prevăzuți anozii auxiliari A_e , numiți anozii de *excitație* sau de *întreținere*, alimentați separat prin transformatorul de excitație T_e , legat la rețea prin întreruptorul I_e .

În figura 18-9 este reprezentată schema constructivă a unui redresor cu vas metalic. În figură se văd numai doi anodi principali A_1 și A_2 . Aprinderea arcului principal se obține cu ajutorul anodului de aprindere A_a , fixat

Fig. 18-9. Redresor cu vas de sticlă.



la capătul inferior al tijei metalice t . La capătul superior, tija are o armătură a care poate fi atrasă de bobina S . La punerea în funcțiune a redresorului, bobina atrăgând armătura, cufundă anodul A_a în mercur. Întrerupându-se

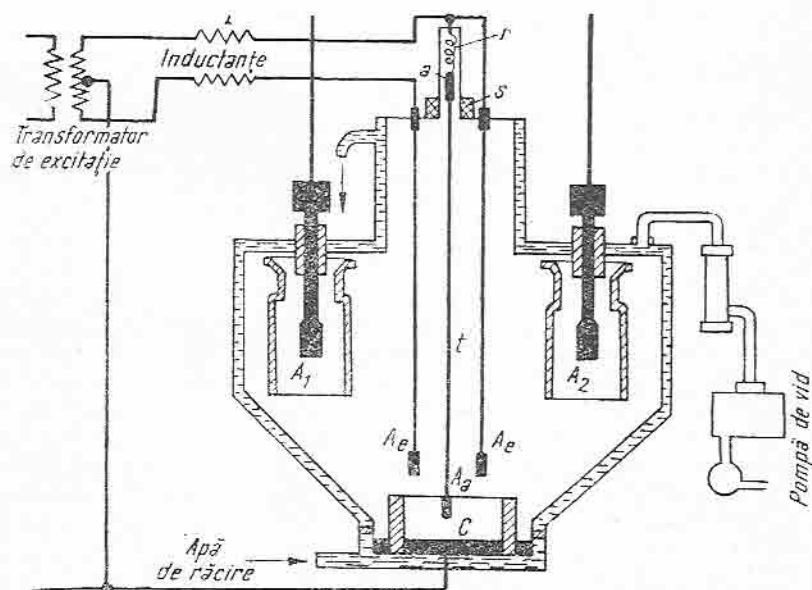


Fig. 18-10. Redresor cu vas metalic.

apoi curentul din bobină, resortul r ridică anodul A_a din mercur, făcînd să apară un mic arc, care provoacă aprinderea anozilor de excitație A_e și care asigură, la rîndul lor, funcționarea anozilor principali.

Redresoarele se utilizează pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu (redresat) ca, de exemplu: pentru încărcarea bateriilor de acumulare (dacă se dispune numai de curent alternativ), pentru alimentarea tramvaielor (care au motoare de curent continuu), cu ajutorul energiei electrice date de o rețea trifazată și altele.

Aceste redresoare au avantajul că nu au piese în mișcare, au greutate mică și volum redus și un randament bun la orice sarcină.

Redresoarele cu mercur cu mai mulți anodi pot fi polianodice, cînd toți anozii se găsesc într-un singur vas, sau monoanodice, cînd fiecare anod își are vasul său.

Unele redresoare cu mercur monoanodice au un dispozitiv special de aprindere: în mercur se găsește cufundată parțial o piesă numită *ignitor*. În momentul cînd trebuie să se aprindă arcul, se trece un curent electric prin ignitor și mercur; se formează atunci un mic arc care provoacă aprinderea arcului principal, după care curentul electric prin ignitor se întrerupe pentru a fi produs din nou cînd este necesar să se reaprindă arcul principal. Asemenea redresoare se numesc *ignitroane* sau *redresoare ignitronice*.

La unele redresoare, între fiecare anod și catod se găsește un grătar metalic, numit *grătar* sau *grilă de comandă*. Grilele de comandă pot fi aduse, în anumite momente, printr-un dispozitiv special, la potențiale pozitive sau negative față de catod. Dacă, de exemplu, grila corespunzătoare unui anod este negativă, arcul anodului respectiv nu se mai poate aprinde în momentul arătat în figura 18-8, deoarece electronii care vin spre anod sînt respinși de grila negativă. Arcul se poate aprinde, în acest caz, cu o anumită întîr-

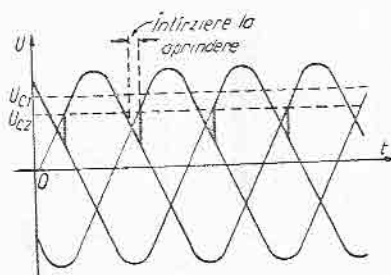


Fig. 18-11. Efectul întîrzierii la aprinderea arcului.

ziere, și anume atunci cînd grila a devenit pozitivă. Prin această întîrziere la aprinderea arcurilor se poate obține o modificare a curbei tensiunii redresate (fig. 18-11), ceea ce provoacă o reducere a tensiunii medii redresate. În felul acesta, prin variația întîrzierii se poate regla între anumite limite tensiunea medie redresată. În figura 18-11, U_{c1} reprezintă tensiunea medie redresată în cazul cînd nu există întîrziere la aprinderea arcurilor, iar U_{c2} în cazul cînd există o asemenea întîrziere.

b. Redresoare uscate

Pentru puteri mai mici, se folosesc și redresoare uscate dintre care cele mai obișnuite sînt cu *cupru-oxid* și cu *seleniu*.

Redresorul cupru-oxid (fig. 18-12) este alcătuit dintr-o serie de elemente, fiecare element avînd o placă de cupru *C* și una de plumb. Suprafața plăcii de cupru dinspre plumb este transformată în oxid de cupru (*O*) printr-un tratament termic. Un asemenea element lasă să treacă curentul numai în sensul plumb-cupru.

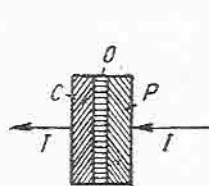


Fig. 18-12. Redresor cupru-oxid.

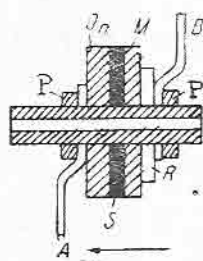


Fig. 18-13. Redresor de seleniu.

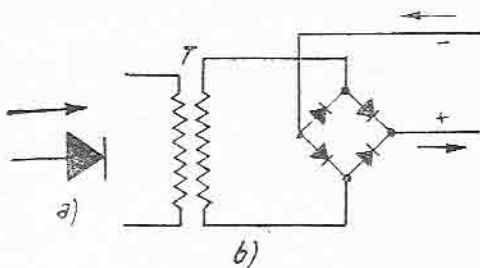


Fig. 18-14. Montajul în punte.

Redresorul cu seleniu (fig. 18-13) este alcătuit dintr-o placă de oțel nichelat *O_n*, un strat de seleniu *S* și un strat de metal ușor fuzibil *M*. S-a notat prin *R* o rondelă elastică, prin *A* și *B*, bornele aparatului, iar prin *P* piulițele de strîngere ale ansamblului. Printr-un astfel de redresor, curentul poate circula numai în sensul seleniu-oțel.

Redresoarele uscate se notează în schemele electrice ca în figura 18-14, *a*. Sensul săgeții arată sensul de circulație al curentului. Pentru a se putea redresa ambele alternanțe ale curentului, aceste redresoare se leagă între ele după diferite scheme, de exemplu ca în *montajul în punte* reprezentat în figura 18-14, *b*, unde prin *T* s-a notat un transformator legat la rețeaua de curent alternativ.

În ultimii ani s-a început construirea redresoarelor de puteri mari, cu *germaniu* și mai ales cu *siliciu*. Asemenea redresoare cu siliciu sînt mai avantajoase decît cele cu germaniu, avînd, la aceeași putere, gabarit mai redus și neliind atît de mult influențate de temperatură. De curînd s-a reușit să se fabrice redresoare cu celule de siliciu comandate (aproximativ în felul în care se poate comanda un redresor cu mercur prin intermediul grilelor) numite *livistoare*.

Redresoarele se întrebuintează mai ales în tracțiunea electrică, la încărcarea bateriilor de acumulare ș.a.

c. Redresoare cu tuburi electronice

Principiul redresării cu ajutorul tuburilor electronice a fost descris în capitolul IX, paragraf 4. În cele ce urmează se dau câteva scheme cu tuburi electronice redresoare.

Figura 18-15 reprezintă o schemă de redresare, în care se folosește o diodă simplă redresoare. Cu această schemă se redresează în timpul unei

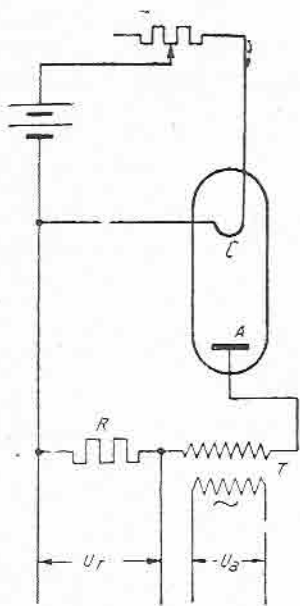


Fig. 18-15. Redresarea unei singure alternanțe cu o diodă.

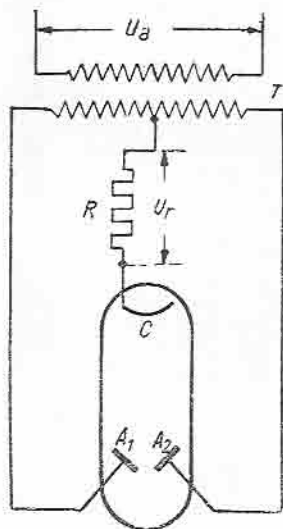


Fig. 18-16. Redresarea ambelor alternanțe cu o diodă cu doi anodi

perioade numai o singură alternanță. Tensiunea alternativă U_a , care trebuie redresată, este aplicată diodei prin intermediul transformatorului T , iar tensiunea redresată U_r , se obține la bornele rezistenței R .

Figura 18-16 reprezintă o schemă folosind o diodă cu doi anodi A_1 și A_2 , care redresează ambele alternanțe. Tensiunea alternativă U_a de redresat se aplică și aici prin intermediul unui transformator T , obținându-se tensiunea redresată U_r . Pentru simplificare, nu s-a mai desenat circuitul de încălzire a catodului.

În figura 18-17 se prezintă o schemă cu două diode, care redresează, de asemenea, ambele alternanțe. U_a este tensiunea alternativă, care trebuie

redresată, iar U_r este tensiunea redresată, T fiind un transformator. Cele două diode au catodii încălziți cu curent alternativ, prin intermediul transformatoarelor T_1 și T_2 .

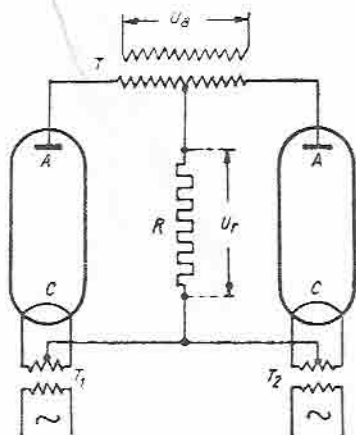


Fig. 18-17. Redresarea ambelor alternanțe cu două diode.

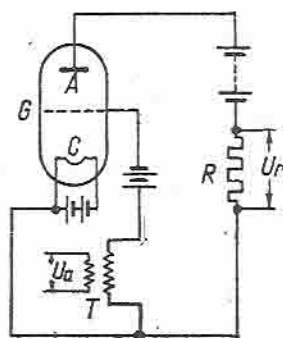


Fig. 18-18. Trioda redresoare.

Figura 18-18 prezintă schema folosind o triodă redresoare. Tensiunea U_a care trebuie redresată este aplicată circuitului de grilă cu ajutorul transformatorului T , iar tensiunea redresată U_r este obținută la bornele rezistenței R din circuitul anodic.

CAPITOLUL XIX

ILUMINATUL ELECTRIC

1. NOȚIUNI GENERALE : MĂRIMI ȘI UNITĂȚI FOTOMETRICE DE BAZĂ, SISTEME DE ILUMINAT

Iluminatul artificial reprezintă, ca și cel natural, o problemă de o importanță deosebită în activitatea omului, deoarece s-a constatat practic că un iluminat de bună calitate îmbunătățește condițiile de muncă, reduce numărul de accidente și evită apariția unor boli profesionale, ca de exemplu, nistagmus (sau clipitul ochilor). În plus, un iluminat de bună calitate mărește productivitatea muncii, asigură o folosire cât mai bună a uneltelor și a mașinilor de lucru, mărește calitatea producției și micșorează rebuturile.

Pentru a putea vedea, este necesar să existe un minimum de lumină. Crescând iluminarea, ochiul începe să vadă din ce în ce mai bine. Datorită diferențelor de culoare și de strălucire a diferitelor puncte ale unui obiect, datorită umbrelor, ochiul distinge obiectele.

Mărind iluminarea peste o anumită limită, efectul de îmbunătățire a vederii nu se mai simte, adică, deși iluminarea crește, vederea nu se îmbunătățește mai mult ; mărind iluminarea în continuare, obiectele devin strălucitoare, vederea începe să fie jenată și se ajunge la orbire, adică omul nu mai distinge obiectele.

Dacă într-un spațiu iluminat normal se reduce iluminarea, în primele momente se constată o scădere a vederii, dar după un timp oarecare, prin „adaptarea la obscuritate“, ochiul începe să vadă din nou. Timpul pe care îl necesită adaptarea la obscuritate poate ajunge uneori la câteva minute. (De exemplu, când se intră de la lumină într-o sală de cinematograf, în cursul spectacolului, la început, la lumina slabă dată de ecran, nu se pot distinge lucrurile și oamenii din jur, dar după câteva minute se pot vedea destul de bine rîndurile de scaune, oamenii, pereții etc.).

Pentru a distinge clar obiecte așezate la distanțe diferite, ochiul trebuie să se „acomodeze“. Acomodarea necesită (ca și adaptarea) un timp cu alții

mai scurt cu cât iluminarea este mai bună. Strălucirea intensă a unui obiect jenează vederea și îngreunează acomodarea.

O instalație de iluminat care nu ține seama de aceste necesități ale unei vederi în bune condiții va fi o instalație necorespunzătoare. (De exemplu, în apropierea tabloului de control al unei instalații nu trebuie să fie obiecte strălucitoare, cum este chiar cazul unei lămpi cu incandescență pentru iluminatul tabloului, dacă i se vede filamentul incandescent, atunci când privești spre tablou; în această situație, prin fenomenul de orbire produs de strălucirea filamentului incandescent, citirea indicațiilor aparatelor este stânjenită). Mărimile și unitățile fotometrice principale pe baza cărora pot fi apreciate un iluminat și o instalație de iluminat oarecare sînt enumerate și descrise mai jos:

Fluxul luminos Φ este cantitatea de energie corespunzătoare radiațiilor vizibile emise, în unitatea de timp, de către un izvor de lumină; cu alte cuvinte, fluxul luminos emis de un izvor de lumină este puterea corespunzătoare radiațiilor care produc senzația de lumină.

Fluxul luminos se măsoară în lumeni. Lumenul (lm) este o unitate de putere de 650 ori mai mică decît wattul.

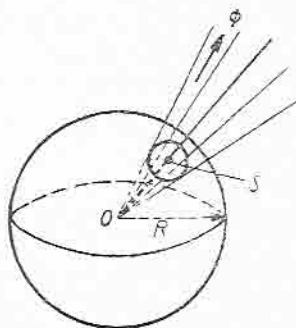
Intensitatea luminoasă. Pentru a înțelege această mărime se consideră o sferă de rază R în centrul căreia se află izvorul de lumină O (fig. 19-1); pe suprafața acestei sfere se consideră o zonă cu o suprafață S prin care iese lumina. Raportul dintre suprafața S și pătratul razei sferei:

$$\Omega = \frac{S}{R^2},$$

se numește, după cum se știe, unghiul solid Ω sub care se vede din centrul sferei aria S .

Fig. 19-1. Emiterea unui flux luminos Φ de către un izvor de lumină punctiform O printr-un

$$\text{unghi solid } \Omega = \frac{S}{R^2}.$$



Raportul dintre fluxul luminos Φ emis printr-un unghi solid elementar Ω și unghiul solid elementar reprezintă intensitatea luminoasă I a izvorului de lumină în direcția considerată:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}. \quad (19.1)$$

Cu cât fluxul emis într-un unghi solid este mai mare, cu atât și intensitatea luminoasă pe direcția respectivă va fi mai mare.

Intensitatea luminoasă se măsoară în candelă. *Candela* (cd) este intensitatea luminoasă a unui izvor de lumină care emite un flux de un lumen, printr-un unghi solid unitate. Unghiul solid unitate este unghiul solid determinat de o suprafață $S=1 \text{ m}^2$ pe o sferă cu raza $R=1 \text{ m}$ și se numește steradian (str.) (Cu alte cuvinte, unghiul solid unitate este acela determinat de o suprafață $S=R^2$ așezată pe o sferă de rază R).

Iluminarea E într-un punct al unei suprafețe S este raportul dintre fluxul luminos Φ și suprafața considerată:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (19.2)$$

Cu alte cuvinte, iluminarea este densitatea fluxului luminos care cade pe o suprafață.

Iluminarea se măsoară în lueși. *Luxul* (lx) este iluminarea unei suprafețe de 1 m^2 pe care cade un flux luminos de 1 lm, uniform repartizat.

Factorul de eficacitate luminoasă η al unui izvor de lumină este raportul dintre fluxul luminos Φ emis de izvorul de lumină și puterea P consumată de acel izvor pentru producerea fluxului Φ :

$$\eta = \frac{\Phi}{P}. \quad (19.3)$$

Factorul de eficacitate luminoasă se măsoară în lumen pe watt (lm/W). Cu cât factorul de eficacitate luminoasă este mai mare, cu atât izvorul de lumină respectiv va produce, la aceeași putere consumată, un flux luminos mai mare.

Din fluxul luminos care cade pe un obiect, o parte se reflectă, o parte este absorbită de obiect, iar o parte poate fi transmisă mai departe.

Raportul dintre fluxul care se reflectă (flux reflectat Φ_r) și fluxul care cade pe obiect (flux incident Φ_i) se numește factor de reflecție sau coeficient de reflecție ρ .

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}. \quad (19.4)$$

Se observă că ρ este mai mic decât unitatea.

Cu cât un material oarecare are un coeficient de reflecție mai aproape de unitate, cu atât el va reflecta o parte mai mare din fluxul incident. Astfel, un perete sau o suprafață cu o culoare deschisă are un coeficient de reflecție mai mare decât una cu o culoare închisă.

Iluminatul artificial poate fi de diferite feluri. Astfel, după locul unde se aplică, el poate fi:

- iluminat interior (în clădiri);
- iluminat exterior (în spații deschise, șantiere etc.).

După modul cum este iluminat locul de muncă, iluminatul poate fi:

— *iluminat general*, când asigură o iluminare uniformă pe o suprafață mai mare de lucru (iluminatul unei hale, o zonă a unui șantier etc.); iluminatul spațiilor destinate circulației publice este un alt exemplu de iluminat general și se numește *iluminat public*;

— *iluminat local*, când se asigură iluminatul unui loc de muncă de dimensiuni reduse (locul de lucru efectiv la un strung, la un birou etc.);

— *iluminat combinat*, obținut prin suprapunerea unui iluminat general cu un iluminat local.

După modul cum fluxul luminos emis de izvorul de lumină ajunge la suprafața utilă de lucru, iluminatul poate fi:

— *iluminat direct*, când circa 90% din fluxul emis de sursă cade direct pe suprafața de lucru (utilă);

— *iluminat indirect*, când circa 90% din fluxul emis de sursă ajunge la suprafața utilă după o reflecție (pe tavan, pereți și diverse elemente arhitecturale);

— *iluminatul difuz*, când circa 40—60% din fluxul emis de sursă realizează un iluminat direct, iar restul, un iluminat indirect;

— *iluminat semidirect*, când numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat direct;

— *iluminat semîndirect*, când numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat indirect.

Ținând seama de caracterul instalației de iluminat, iluminatul mai poate fi:

— *fix*, realizat prin instalații fixe;

— *mobil*, realizat prin instalații mobile (lămpi portative alimentate prin cablu flexibil de la rețeaua electrică);

— *portativ*, realizat prin instalații portative la care sursa de alimentare cu energie este înglobată în aparatul de iluminat portativ.

După scopul urmărit:

— *iluminat normal*, utilizat pentru lucru în condiții normale;

— *iluminat de siguranță*, utilizat în cazuri de avarie a iluminatului normal;

— *iluminat de pază*, utilizat pentru paza de noapte a șantierelor, clădirilor etc.

2. IZVOARE DE LUMINĂ

Izvoarele de lumină utilizate în mod curent sînt *lămpile cu incandescență* și *lămpile cu fluorescență*. Pe lângă acestea, mai sînt utilizate lămpile cu arc electric, lămpile cu descărcări în gaze și în vapori metalici (mercur, sodiu).

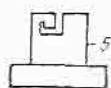
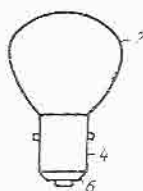
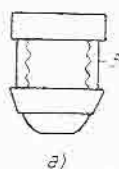
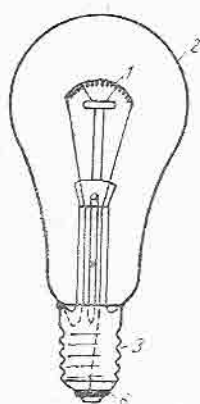


Fig. 19.2. Lampă cu incandescență :

a — cu soclu și dulie cu filet rotund ; b — cu soclu și dulie baionetă ;
1 — filament metalic ;
2 — balon de sticlă ;
3 — soclu cu filet rotund ; 4 — soclu baionetă ;
5 — dulie ;
6 — izolație.

În Republica Socialistă România, producția izvoarelor de lumină este asigurată de întreprinderile Electrofarul și Steaua electrică-Fieni, modern utilizate.

a) *Lampa cu incandescență sau becul electric* (fig. 19-2) se bazează pe aducerea la incandescență (circa 2800°C) a unui filament metalic cu ajutorul curentului electric. Pentru a împiedica distrugerea filamentului prin oxidare acesta este închis într-un balon de sticlă în care se face vacuum sau se introduce un gaz inert (argon, azot, kripton). Lampa este conectată în circuit prin intermediul soclului ei, care se introduce în dulie. Soclul și dulia pot fi cu filet rotund (fig. 19-2, a) sau cu baionetă (fig. 19-2, b). Dulia are borne pentru conectarea ei la rețeaua electrică.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu incandescență este cuprins între 11 și 18 lm/W. Strălucirea filamentului este mare. Lămpile sînt construite pentru tensiuni de 12, 24, 42, 120, 220 V și puteri pînă la 500 W. Durata utilă a unei lămpi cu incandescență se consideră de 1 000 ore de utilizare ; după acest timp, datorită volatilizării în parte a filamentului, fluxul luminos scade cu 10—20% din valoarea sa normală inițială. Lampa cu incandescență este sensibilă la variațiile de tensiune ; la o creștere de tensiune de 10% peste tensiunea nominală, crește fluxul luminos produs, însă durata de utilizare scade de circa 4 ori ; la o scădere a tensiunii sub valoarea nominală, crește durata de utilizare dar se reduce sensibil fluxul luminos produs. De aceea, în rețelele de iluminat, tensiunea trebuie să rămînă cît mai constantă, la valoarea nominală.

Uneori, în calculele de iluminat este necesar să se cunoască intensitatea luminoasă pe care o produce lampa pe o anumită direcție.

Acest lucru este dat în cataloage prin „curba fotometrică polară meridiană a intensității luminoase a lămpii (sau a izvorului de lumină respectiv) ; curba fotometrică (fig. 19-3) reprezintă grafic intensitatea luminoasă pe diferitele direcții care trec prin centrul sursei. Astfel, în figura 19-3, direcției de 60° îi corespunde o intensitate de $I_{\alpha=60^\circ}=80$ cd. De obicei, curba fotometrică este dată pentru o lămpă cu un flux luminos de 1 000 lm ; pentru o lămpă cu aceeași construcție, dar cu un flux luminos Φ diferit de 1 000 lm, intensitatea luminoasă $I_{\alpha\Phi}$ corespunzătoare pe o direcție oarecare se calculează în funcție de intensitatea luminoasă $I_{\alpha 1000}$ dată de curba pentru aceeași direcție corespunzătoare lămpii de 1 000 lm, aplicînd formula :

$$I_{\alpha\Phi} = \frac{\Phi}{1000} \cdot I_{\alpha 1000} = k_{\Phi} \cdot I_{\alpha 1000} \quad (19.5)$$

Curbele fotometrice pot fi date și sub formă de tabele. Ele sînt date atît pentru diferitele tipuri și formate de lămpi, cît și pentru lămpi montate în corpuri de iluminat (vezi mai departe ; de reținut că un corp de iluminat modifică repartizarea intensității luminoase a lămpii).

În tabela 19-1 sînt arătate caracteristicile principale ale lămpilor cu incandescență fabricate în patria noastră.

b) *Lampa cu fluorescență.* Funcționarea lămpii cu fluorescență se bazează pe transformarea radiațiilor invizibile ultraviolete, în radiații vizibile pe baza fenomenului de fluorescență. Radiațiile invizibile ultraviolete sînt produse de o descărcare electrică prin vapori de mercur și gaze conținute

Fig. 19-3. Curba fotometrică polară meridiană a unei lămpi cu incandescență (de 1 000 lm).

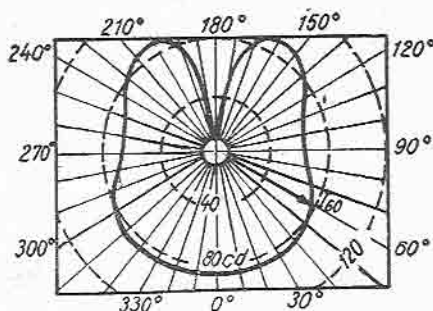


Tabela 19-1

Caracteristicile principale ale lămpilor (STAS 6115-59), cu incandescență de uz general

Tensiune, în V	Putere, în W	Flux luminos, în lm	Socul	Tensiune, în V	Putere, în W	Flux luminos, în lm	Socul
120	15	120	E 27	220	15	105	E 27
	25	217	E 27		25	190	E 27
	40	372	E 27		40	312	E 27
	60	623	E 27		60	515	E 27
	75	840	E 27		75	705	E 27
	100	1 210	E 27		100	1 040	E 27
	150	2 020	E 27		150	1 770	E 27
	200	2 880	E 27		200	2 540	E 27
	300	4 680	E 27, E 40		300	4 260	E 27, E 40
	500	8 000	E 40		500	7 350	E 40
	1 000	17 700	E 40		1 000	16 700	E 40

într-un tub la presiune scăzută. Din totalul radiațiilor produse de descărcarea electrică prin tub, 15% sînt radiații violete vizibile, restul fiind radiații ultraviolete invizibile. Pe pereții tubului în care are loc descărcarea se află un strat de compuși chimici numiți luminofori, care fiind supuși acțiunii radiațiilor ultraviolete produc prin fluorescență radiații vizibile.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu fluorescență este de 32-35 lm/W, adică 3—3,5 ori mai mare decît la lămpile cu incandescență. Strălucirea lămpii este mult mai redusă, de aproximativ 1 000 ori mai mică decît la lămpile cu incandescență. Durata de utilizare a lămpilor este de 3 000 h. Lămpile cu fluorescență se construiesc sub formă de tuburi (30—150 cm lungime) și pentru puteri de 20—150 W; în funcție de compoziția gazelor introduse în tub ele pot da o lumină foarte apropiată de lumina zilei.

Lampa cu fluorescență nu este influențată de variațiile obișnuite de tensiune, în schimb ea este influențată de temperatură (la rece mercurul condensează, la temperaturi mai mari se reduce eficacitatea luminoasă a lămpii).

La tensiunea industrială cu frecvența de 50 Hz, lampa cu fluorescență se stinge de 100 ori pe secundă (la toate trecerile curentului prin zero); ca urmare, piesele care sînt în mișcare de rotație fiind luminate periodic, se văd fie stînd pe loc, fie mergînd cu o viteză diferită de aceea reală, sau uneori se văd rotindu-se chiar în sens invers decît în realitate; de asemenea, mișcînd repede mîna sau o unealtă oarecare, ochiul vede o succesiune de

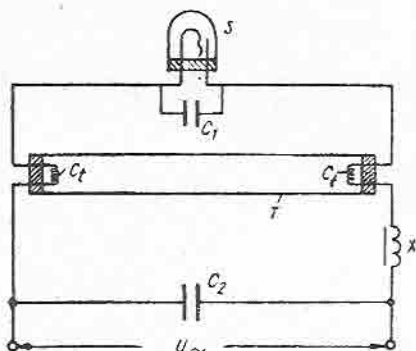


Fig. 19-4. Schema electrică a unei lămpi cu fluorescență, cu catodi calzi:
 T — tub de sticlă; C — filamente metalice; S — starter; X — reactanță de stabilizare (bobină de șoc);
 C_1 , C_2 — condensatoare.

imagini care produce o jenă a vederii. Se spune că lampa produce un „efect stroboscopic“. Cînd se folosesc mai multe lămpi, acest neajuns poate fi micșorat legînd lămpile între faze diferite ale rețelei și nul.

Lampa cu fluorescență a cărei schemă electrică este reprezentată în figura 19-4, cuprinde: tubul T , în care se produce descărcarea; cei doi catodi C_4 , sub forma unor filamente metalice, așezate la capetele tubului; o lampă specială S , numită starter; o reactanță (bobină de șoc) de stabilizare X , formată dintr-un bobinaj așezat pe un miez de fier; două condensatoare C_1 și C_2 .

Starterul S este o mică lampă cu descărcare în gaze (neon), la care unul din cei doi electrozi ai săi este executat dintr-o lamă bimetal.

Punînd lampa sub tensiune, între cei doi electrozi ai starterului (care în mod normal nu fac contact între ei) apare o descărcare luminescentă în neon. Această descărcare produce încălzirea electrozilor săi; electrodul bimetalic, deformîndu-se, face contact cu celălalt electrod, închizînd astfel circuitul filamentelor C_4 ale lămpii. Filamentele sînt străbătute de curent, se încălzesc la 800—1 000°C și emit electroni. Între timp, starterul se răcește, deoarece o dată cu stabilirea contactului între cei doi electrozi ai săi, descărcarea luminescentă în neon încetează; la un moment dat, contactul dintre cei doi electrozi ai starterului se deschide, întrerupînd curentul din circuitul filamentelor C_4 ; datorită reactanței (inductive) X , la întreruperea curentului apare o supratensiune de cîteva sute de volți care, aplicîndu-se la capetele tubului între filamente, amorsează descărcarea prin tub între filamente și lampa intră astfel în funcțiune. Curentul de descărcare în lampă este limitat de reactanța de stabilizare; dacă ea ar lipsi, curentul ar crește la valori care ar distruge lampa. După intrarea în funcțiune a lămpii, tensiunea la capetele tubului scade sub ten-

siunea de aprindere a starterului și acesta nu mai funcționează. Dacă lampa nu s-a aprins după prima deschidere a contactelor starterului, acesta intră din nou în funcțiune, chiar de mai multe ori, pînă cînd lampa se aprinde. De aceea, lampa se aprinde în circa 1 minut. Există lămpi la care starterul este realizat cu ajutorul unui dispozitiv care conține un mic releu electrotermic și un releu electromagnetic.

Pentru ca funcționarea starterului să nu producă paraziți, starterul se șuntează cu un condensator C_1 . Pentru a îmbunătăți factorul de putere al lămpii, care este redus datorită reactanței (inductive) de stabilizare, se folosește condensatorul C_2 . În felul acesta, factorul de putere a lămpii este de 0,9—0,95.

Se construiesc și lămpi cu fluorescență care, folosind reactanțe de stabilizare de construcție specială, se aprind fără a mai fi nevoie de starter. În tabela 19-2 sînt arătate caracteristicile principale ale unor lămpi cu fluorescență fabricate în țara noastră.

Tabela 19-2

Caracteristicile principale ale unor lămpi cu fluorescență fabricate în R. S. România

Tipul lămpii		Puterea nominală W	Fluxul luminos, nominal, în lm la culoarea*					Dimensiunile tubului	
			BI	CC	EE	CB	CD	lungime mm	Diametru mm
PF 20 W	Cu starter	20	1 080	980	750	750	700	590	38
PF 40 W		40	2 700	2 450	2 000	1 880	1 750	1 200	38
PF 65 W		65	4 250	3 900	3 240	3 000	2 750	1 500	38
PFS 40 W	Fără starter	40	2 600	2 350	1 950	1 800	1 700	1 200	38

- * BI — alb cald (nu asigură redarea corectă a culorilor; se utilizează la iluminatul străzilor, parcurilor etc.).
 CB — alb cald de lux (redare corectă a culorilor; locuințe; magazine, expoziții etc.)
 CC — alb (completează bine iluminatul natural; ateliere, birouri, școli, iluminat exterior etc.).
 CD — alb de lux (bună redare a culorilor; fabrici textile, ceramică, sticlărie, birouri, locuințe etc.).
 EE — alb lumina zilei (apropiată de lumina zilei; unde sînt necesare iluminări deosebite).

Lampa cu vapor de mercur de înaltă presiune. În ultima vreme, în special la iluminatul public, se folosește o lampă cu vapor de mercur de înaltă presiune cu puteri de 50 la 100 W la tensiunea de 220 V și 50 Hz (fig. 19-5). Lampa cu mercur, construită dintr-un tub de cuarț 1, servește ca sursă de radiații ultraviolete; aceste radiații sînt transformate în radiații vizibile cu ajutorul unor substanțe fluorescente (luminosori) așezate pe pereții interiori ai balonului 2 al lămpii. Aprinderea lămpii se face prin intermediul unui electrod auxiliar 3 și durează cîteva minute, în care timp lumina crește progresiv o dată cu stabilirea descărcării între electrozii principali 4.

Pentru a limita curentul prin lampă la o valoare nepericuloasă, se montează în serie pe circuit o reactanță inductivă 5.

Dacă lampa este deconectată de la rețea și apoi conectată imediat, ea se stinge, dar nu se mai aprinde decît după un anumit interval de timp.

Ca izvoare de lumină, pe lângă lămpile descrise, care se utilizează la iluminatul obișnuit, în practică se mai întâlnesc lămpi cu incandescență de construcție specială, folosite la aparatele de proiecție, la proiectoare sau alte aparate optice. De asemenea se mai întâlnesc în practică și alte tipuri de lămpi cu mercur sau cu alți vapori metalici, de exemplu, sodiu, și care au în general utilizări speciale.

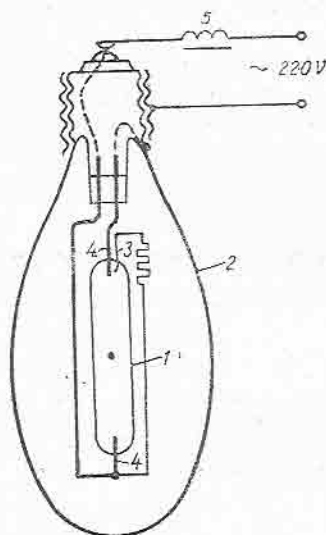


Fig. 19-5. Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune:

- 1 — tub de cuarț; 2 — balon de sticlă purtând luminofori pe partea interioară; 3 — electrod auxiliar; 4 — electrozi principali; 5 — reactanță inductivă.

Lămpile cu descărcări în gaze se întâlnesc sub o formă de tuburi lungi (alimentate la tensiuni mari), la realizarea reclamelor luminoase.

Un alt izvor de lumină utilizat în practică, în special la aparatele de proiecție (cinematograf), la proiectoarele mari și la heliografe este arcul electric în aer, stabilit între doi electrozi de cărbune*.

3. CORPURI DE ILUMINAT

Pentru folosirea practică, lămpile (izvoarele de lumină) sînt montate într-un complex de piese denumit armătură sau corp de iluminat. Corpurile de iluminat au drept scop: să asigure alimentarea cu energie electrică a

* Prima utilizare a energiei electrice la iluminat s-a făcut prin intermediul arcului stabilit între doi electrozi de cărbune, lampa respectivă fiind denumită *luminarea lui Iabločikov*. Această lampă avea cărbunii așezați paralel, astfel încît arcul se menține stabil pînă la arderea completă a electrozilor, fără să fie vreun reglaj al distanței dintre ei.

lămpii; să facă o redistribuție rațională a fluxului luminos în raport cu felul iluminatului; să evite efectul de orbire pe care l-ar produce strălucirea intensă a filamentului lămpilor cu incandescență; în unele cazuri, corpul de iluminat trebuie să protejeze lampa contra deteriorării ei pe cale mecanică, contra murdăriei, contra efectelor dăunătoare ale mediului (praf, umezeală etc.), iar în alte cazuri, să protejeze mediul înconjurător contra temperaturilor ridicate (scînteii etc.) pe care le poate produce lampa. De aici rezultă și diferite moduri de execuție ale corpurilor de iluminat (execuție normală, protejată, etanșă, antideflagrantă etc.).

Corpurile de iluminat obișnuite redistribuie astfel fluxul luminos, încît să se obțină iluminarea în bune condiții a unor suprafețe situate la distanțe relativ mici.

Proiectoarele dirijează fluxul luminos într-un unghi solid mic, în scopul de a produce iluminări bune pe suprafețe situate la distanțe mari.

Corpurile de iluminat cele mai uzuale sînt arătate în tabela 19-3. Orice corp de iluminat cuprinde, ca elemente esențiale, o dulie pentru fixarea lămpii electrice și conectarea ei la rețeaua electrică și un sistem optic (globuri opale, reflectoare etc.), care asigură redistribuirea fluxului luminos. În funcționare, datorită prăfuirii, calitățile corpului de iluminat se depreciază. Se definește drept „factor de depreciere” Δ_c al unui corp iluminat raportul:

$$\Delta_c = \frac{\Phi_e}{\Phi_{ei}} \quad (19.6)$$

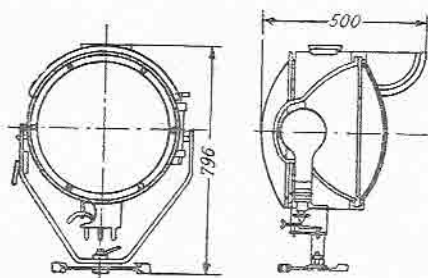


Fig. 19-6. Proiector.

în care Φ_e este fluxul luminos mediu emis de corpul de iluminat în timpul funcționării, iar Φ_{ei} este fluxul luminos emis de același corp în condiții inițiale (șters de praf și neuzat). Așa cum se arată și în tabela 19-3, factorul de depreciere depinde de felul corpului de iluminat și de modul în care el este întreținut (șters de praf).

Pentru iluminatul spațiilor mari, de exemplu, lucrări de șantier, gări de triaj, fațade de clădiri etc. corpurile de iluminat sînt de tipul proiectoarelor din figura 19-6.

În afară de iluminatul șantierelor, proiectoarele sînt folosite și pe vehicule, cînd se numesc faruri.

4. CALCULUL ILUMINATULUI CU CORPURI DE ILUMINAT

Calculul iluminatului are drept scop stabilirea numărului și puterii lămpilor, alegerea aparatelor de iluminat și amplasarea lor, pentru a asigura un iluminat rațional al unei suprafețe de lucru. Prin iluminat rațional se înțelege asigurarea unei iluminări minime necesare și a unui factor bun de uniformitate a iluminării suprafeței de lucru, evitând efectele de orbire etc., în concordanță cu recomandările normale.

În tabela 19—4 sînt date cîteva valori ale iluminărilor minime recomandate pentru iluminatul cu lămpi cu incandescență la diferite lucrări. Trebuie menționat că utilizarea iluminatului fluorescent tinde să mărească cu mult iluminările minime admise, față de iluminatul cu lămpi cu incandescență.

Tabela 19-4

Iluminări minime, recomandate pentru diferite lucrări

Locul	Iluminarea lx	Locul	Iluminarea lx
Ateliere mecanice	30	Laboratoare	50
Lucrări la bancă	75	Săli de club, săli de ședințe	50
Mașini unelte	150—300	Vestibule	25
Hale de montaj	50	Coridoare, scări	10
Lucrări de montaj fine . .	150	Vestiare, dușuri, clesete.	15
Lucrări de precizie la trasaj	500	Săli de desen	100
Forje și prese	50	Birouri de proiectare . .	75
Turnătorie	50	Birouri dactilografice . .	100
Vopsitorie și emailaj . . .	50	Birouri administrative . .	50
Ringuri și selfactoare . .	75	Cantine	50
(textile)	75	Bucătărie	50
Războaie la pînză și urzeală.	75—125	Străzi pe partea carosabilă	2—6
		Străzi pe trotuar	1—3

Pentru evitarea efectului de orbire, practic se cere ca unghiul sub care vede ochiul filamentul cu incandescență (unghiul dintre orizontală și raza care unește filamentul incandescent cu ochiul) să fie mai mare decît 30°; în același scop se utilizează și corpuri de iluminat care au o apărătoare din sticlă mată sau lăptoasă.

Metodele folosite în mod curent pentru calculul iluminatului sînt:

- metoda prin puncte;
- metoda fluxului luminos;
- metoda puterii specifice.

a) *Metoda prin puncte.* Cunoscînd poziția unui punct *A* față de un izvor de lumină, așa cum se arată în figura 19-7, se poate calcula iluminarea pe un plan orizontal E_0 și iluminarea pe un plan vertical E_v aplicînd relațiile:

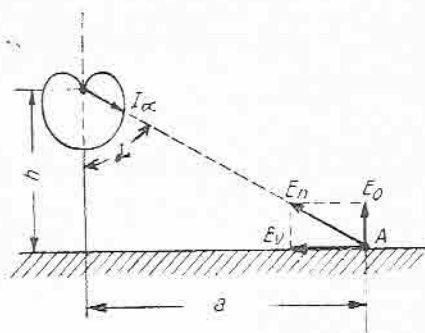
$$E_0 = \frac{k \Phi I \alpha_{1000} \cos^3 \alpha}{k \cdot h^2} \quad E_v = \frac{k \Phi I \alpha_{1000} \cos^2 \alpha \sin \alpha}{k \cdot h^2} \quad (19.7)$$

în care:

- E_0 și E_v sînt iluminarea pe un plan orizontal respectiv vertical, în lx;
 $I_{\alpha_{1000}}$ (în cd) și $k\Phi$ au semnificațiile arătate la relația (19.5);
 α — unghiul dintre verticală și direcția razei de lumină de la lampă la punctul considerat al suprafeței iluminate;
 h — înălțimea de suspendare a lămpii față de punctul considerat al suprafeței iluminate, în m;
 k — un coeficient de siguranță care ține seama de scăderea în timp a intensității luminoase produse de lampă, datorită deprecierii prin prăfuire și îmbătrînire. Acest coeficient se ia

$$k=1,2,\dots, 2.$$

Fig. 19-7. Construcție grafică pentru calculul iluminării folosind metoda prin puncte.



În cazurile practice, se cunosc de obicei $k\Phi$ și $I_{\alpha_{1000}}$ (prin alegerea lămpii și corpului de iluminat); se cunosc de asemenea h , a și α (prin amplasarea corpului de iluminat față de suprafața utilă); prin aplicarea formulelor (19.7) se verifică iluminările E_0 și E_v , după caz.

Cînd același punct este luminat de mai multe lămpi, iluminările date de fiecare lampă în punctul respectiv se adună.

Calculul iluminatului prin metoda prin puncte nu ține seama de fluxul luminos reflectat de suprafețele vecine spre suprafața utilă de lucru. De aceea, această metodă se aplică la calculul iluminatului spațiilor deschise sau în încăperile cu pereții de culoare închisă (hale industriale mari, iluminat public etc.).

b) *Metoda fluxului luminos* ține seama de fluxul luminos reflectat de suprafețele vecine și nu necesită cunoașterea curbei fotometrice a intensității luminoase a lămpii. Această metodă se aplică la calculul iluminatului camerelor la care pereții și tavanul măresc iluminarea suprafeței utile, prin fluxul reflectat. În acest caz, fluxul total Φ_t necesar pentru a produce o iluminare minimă E_{min} pe o suprafață S se calculează folosind relația:

$$\Phi_t = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k}{u \cdot Z} \quad (19.8)$$

în care:

- Φ_t este fluxul total, în lm;
 E_{min} — iluminarea minimă în lx, conform normelor;
 S — suprafața (orizontală) a încăperii iluminate, în m^2 ;
 k — 1,2...2, coeficient care ține seama de scăderea fluxului luminos prin acoperirea cu praf a corpului de iluminat și prin îmbătrînirea lămpii;
 Z — un factor de corecție pentru iluminarea minimă (care diferă de iluminarea medie); valoarea lui variază între 0,67 și 0,97 după cum sînt așezate lămpile, de obicei se ia 0,8;

- u — coeficient de utilizare a fluxului luminos, care se determină satisfăcător din tabela 19—5, în funcție de factorul de reflecție al pereților și tavanului, de tipul de corp de iluminat folosit și de indicele încăperii, i ; acest indice se determină folosind relația :

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (19.9)$$

unde a și b sînt lungimea și lățimea încăperii, în m, iar h este înălțimea corpului de iluminat deasupra suprafeței utile, în m (suprafața utilă se consideră la 0.8 m de podea).

Tabela 19-5

Coeficientul de utilizare a fluxului luminos (în %)

Indicele încăperii	Coeficient de reflecție		Coeficient de utilizare a fluxului luminos pentru un corp pe iluminat (tabela 19—3)			
	Tavan %	Pereți %	Universal (1)	Reflector adînc (2)	Glob sferic (3)	Reflector emailat (6)
0.6	30	10	27	24	12	28
	50	30	30	27	16	32
	70	50	34	31	17	38
0.8	30	10	35	32	16	37
	50	30	38	34	20	41
	70	50	41	37	21	47
1.0	30	10	40	36	19	43
	50	30	42	38	22	47
	70	50	45	40	24	51
1.25	30	10	44	39	21	47
	50	30	45	41	24	51
	70	50	48	43	28	55
1.5	30	10	46	41	23	50
	50	30	48	43	27	53
	70	50	51	46	30	58
2	30	10	50	44	27	55
	50	30	52	46	30	59
	70	50	55	49	34	63
2.5	30	10	54	48	29	60
	50	30	55	49	33	64
	70	50	59	52	37	68
3	30	10	55	49	31	62
	50	30	57	51	35	65
	70	50	60	53	39	70
4	30	10	57	51	34	66
	50	30	59	52	38	68
	70	50	62	55	42	73
5	30	10	58	52	37	67
	50	30	60	54	40	70
	70	50	63	57	46	74

Numărul de lămpi n , necesare pentru iluminarea suprafeței S se determină acum în funcție de fluxul Φ al lămpii alese, folosind relația:

$$n = \frac{\Phi_l}{\Phi_u} \quad (19.10)$$

Cu cît numărul de lămpi este mai mare, cu atît se asigură o uniformitate mai mare a iluminării. În același scop se recomandă respectarea unor proporții între h și l (distanța dintre două corpuri de iluminat). Astfel se recomandă (pentru iluminatul interior incandescent): $\frac{l}{h} \leq 1,5$ — cînd corpurile de iluminat sînt plasate în colțurile unui dreptunghi;

$\frac{l}{h} \leq 2$ — cînd corpurile de iluminat sînt așezate în zigzag.

Distanța D a corpului de iluminat față de perete se recomandă să fie:

$D = (0,4 \dots 0,5) l$ — cînd nu se lucrează lîngă perete;

$D = (0,25 \dots 0,3) l$ — cînd se lucrează lîngă perete.

c) *Metoda puterii specifice* se aplică pentru calcule orientative, expeditiv și constă în a determina puterea P (în W) absorbită de lămpile necesare iluminării unei suprafețe S (în m^2) aplicînd relația:

$$P = p \cdot S, \quad (19.11)$$

în care p este puterea specifică (în W/m^2) absorbită de lămpile necesare iluminatului, cunoscută pe bază de date statistice sau exprimată cu relația:

$$p = \frac{E_{min}}{3 \dots 4}, \quad (19.12)$$

(unde E_{min} se exprimă în lx).

Cunoscînd puterea P necesară și puterea unei lămpi, se poate determina numărul de lămpi electrice necesare.

5. CALCULUL ILUMINATULUI CU PROIECTOARE

Pentru a stabili rapid numărul de proiectoare necesare să asigure o iluminare medie pe o suprafață, se poate aplica relația:

$$n = \frac{k_1 k_2 E_m S}{\Phi_u}, \quad (19.13)$$

în care:

- n — este numărul de proiectare;
- E_m — iluminarea medie necesară, în lx;
- S — suprafața de iluminat, în m^2 ;
- Φ_u — fluxul util al proiecteurului, în lm;
- $k_1 = 1,15 \dots 1,5$ — coeficient de pierdere a fluxului luminos în părțile laterale, care ține seama că nu tot fluxul Φ_u este proiectat asupra suprafeței S ;
- $k_2 = 1,2 \dots 1,5$ — coeficient care ține seama de deprecierea proiecteurului prin prăfuire.

Înălțimea și distanța la care se așază proiectorul se calculează în raport cu mărirea suprafeței de iluminat și cu deschiderea utilă a fasciculului luminos al proiecteurului.

CAPITOLUL XX

ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A ÎNTRINDERILOR INDUSTRIALE

GENERALITĂȚI

Energia electrică s-a impus, înlocuind treptat celelalte forme de energie la acționarea diferitelor instalații în aproape toate ramurile de activitate, datorită următoarelor calități esențiale :

— energia electrică poate fi produsă în centralele electrice mari, situate în apropierea surselor naturale de energie (surse primare), cum sînt minele de cărbuni și căderile de apă ;

— energia electrică poate fi transportată ușor la distanțe mari cu ajutorul liniilor electrice ;

— motoarele electrice sînt simple, sigure în funcționare și se adaptează cel mai bine la acționarea diferitelor utilaje ;

— instalațiile electrice se manevrează și se întrețin ușor și comod ;

— energia electrică dă posibilitatea realizării unor condiții optime de lucru (lipsa zgomotului, iluminat de bună calitate, curățenie) ;

— energia electrică este în general mai ieftină decît alte forme de energie, iar instalațiile electrice au randamentele cele mai bune.

În afară de acestea, mecanizarea și automatizarea sînt de neconceput fără energie electrică. Ori, se știe că mărimea producției și a productivității muncii se bazează în mod deosebit pe mecanizare și automatizare. În concluzie, se impune evident necesitatea unei acțiuni susținute de „electrificare”. Această acțiune a fost înțeleasă și sprijinită la noi în țară numai în anii puterii populare.

Astfel, în țara noastră s-au construit și se construiesc surse puternice de energie electrică — centrale electrice.

De la centrale, energia electrică este transportată și distribuită, prin intermediul rețelelor electrice, la diferite receptoare (întreprinderi, gospodării agricole de stat, orașe, sate etc.). Pentru a transporta energia electrică în condiții economice, adică cu cheltuieli minime, transportul ei se face

la tensiuni înalte (peste 1 000 V). Din motive economice și de securitate, utilizarea energiei electrice la receptoare se face în general la tensiuni joase. De aceea este necesar ca energia să fie transformată la diferite tensiuni cu ajutorul stațiilor și posturilor de transformare. Tot ansamblul format de rețele, stații de transformare și centrale electrice (care funcționează în paralel) formează un *sistem energetic*, care alimentează cu energie electrică una sau mai multe regiuni. În prezent, la noi în țară sistemele energetice regionale sînt interconectate, formînd un *sistem energetic național*.

În cazuri rare, diferitele receptoare pot fi însă alimentate și din centrale electrice locale (atunci cînd sînt în locuri izolate, ca, de exemplu, șantiere și sate depărtate de sistemul național).

Cînd puterea centralei este mică, aceasta se numește *microcentrală* și poate fi realizată chiar ca o construcție transportabilă.

În general producerea și utilizarea energiei electrice se fac în curent alternativ cu o frecvență de 50 Hz. Atunci cînd receptoarele necesită curent continuu, acesta se produce local cu ajutorul redresoarelor, al grupurilor convertizoare (v. capitolul XVIII) sau cu ajutorul grupurilor electrogene de curent continuu (vezi mai jos).

2. PRODUCEREA ȘI TRANSPORTUL ENERGIEI ELECTRICE

Producerea energiei electrice are loc în centralele electrice. Centrala electrică este complexul de instalații, în care o formă oarecare de energie este transformată în energie electrică. De obicei, energia electrică este produsă într-o centrală cu ajutorul grupurilor electrogene. Grupul electrogen este format dintr-un motor primar care antrenează un generator electric. Motorul primar produce energia mecanică pe baza energiei termice obținute prin arderea combustibililor sau a reacțiilor nucleare, pe baza energiei hidraulice (energia căderilor de apă, a mareelor), pe baza energiei eoliene (energia vîntului) etc. Generatorul electric absoarbe energia mecanică produsă de motorul primar și o transformă în energie electrică.

După natura sursei primare de energie, centralele electrice pot fi: termice (termocentrale), hidraulice (centrale hidroelectrice), atomice, eoliene, etc.

După tipul motoarelor primare folosite, centralele pot fi: cu mașini cu abur, cu turbine cu abur, cu turbine hidraulice, cu turbine cu gaze, cu motoare cu ardere internă (motoare Diesel, motoare cu benzină) etc.

Energia electrică se produce în centrală pe măsura ce ea este cerută de consumatori. Deoarece puterea cerută de receptoare variază în decursul timpului, variază în mod identic și puterea produsă de centrală. Puterea produsă de centrala electrică la un moment dat se numește *sarcina centralei*. Reprezentarea grafică a variației sarcinii centralei pe o anumită perioadă de timp se numește *curba de sarcină*, pe perioada respectivă (zi, lună, an). Pentru ca o centrală să funcționeze cît mai economic, este necesar ca sarcina ei să fie

cît mai constantă, iar generatoarele care sînt în funcție să fie încărcate cît mai aproape de puterea lor nominală (în această situație, centrala funcționează cu randamentul cel mai ridicat).

Randamentul unei centrale, adică raportul dintre puterea utilă produsă de generatoare și puterea consumată de centrală (prin combustibil, apă etc.) este de ordinul 27—28%, în cazul termocentralelor cu turbine cu abur și de 32—33%, în cazul centralelor cu motoare cu ardere internă.

Pentru a mări economicitatea unei centrale termoelectrice cu turbine de abur, ea se face cu *termoficare*. În acest caz, pe lângă energie electrică centrala produce și abur sau apă caldă pentru diferiți consumatori; datorită acestui fapt randamentul centralei crește la 60—70%.

Suma puterilor generatoarelor instalate într-o centrală reprezintă „puterea instalată a centralei”. Puterile instalate ale centralelor mari, construite în prezent în țara noastră, sînt de ordinul sute pînă la mii de MW.

În cazul grupurilor de receptoare care cer în total o putere redusă, cum sînt gospodăriile agricole, șantierele mici etc., atunci cînd acestea sînt depărtate de rețelele electrice, pentru alimentarea lor cu energie se utilizează grupuri electrogene formate dintr-un motor Diesel sau semidiesel care antrenează un generator cu o putere de zeci sau sute kVA la o tensiune nominală de $3 \times 400/231$ V și o frecvență de 50 Hz.

Grupurile sînt prevăzute cu tablouri de comandă care cuprind tot aparatul de conectare, reglaj, protecție și măsură necesar, montat atît pe circuitul generatorului, cît și pe circuitele diferitelor plecări spre receptoare. Uneori, grupurile sînt montate pe o sanie sau chiar pe roți, pentru a fi ușor transportabile.

Pentru exemplificare, în figura 20-1 este reprezentat un grup electrogen fabricat în patria noastră, compus dintr-un motor Diesel de 45 CP (ca motor primar) care antrenează un generator trifazat (alternator) cu o putere de 30 kVA, tensiune de $3 \times 380/220$ V și frecvența de 50 Hz. Turația grupului este de 1 500 rot/min. Grupul este prevăzut cu un tablou de comandă și control echipat cu: aparate de conectare (întreruptoare), aparate de măsură (voltmetru, frecvențmetru, ampermetru), aparate de reglaj (reostat și regulator automat de tensiune, aparate de protecție (releele cuprinse în construcția întreruptorului). Tabloul este prevăzut cu două lămpi de semnalizare.

Energia electrică produsă de centrale este transportată în general la distanțe mari, cu ajutorul liniilor electrice. Cu cît distanța de transport este mai mare, cu atît și tensiunea adoptată pentru linia de transport este și ea mai mare (aproximativ, tensiunea liniei exprimată în kV este numeric egală cu lungimea de transport în km). Aceasta se justifică astfel: la aceeași putere transportată, cu cît tensiunea este mai mare, cu atît curentul care trece prin linie va fi mai mic, necesitînd o secțiune de conductor mai mică și deci investiții mai reduse. Tensiunile folosite la transportul energiei elec-

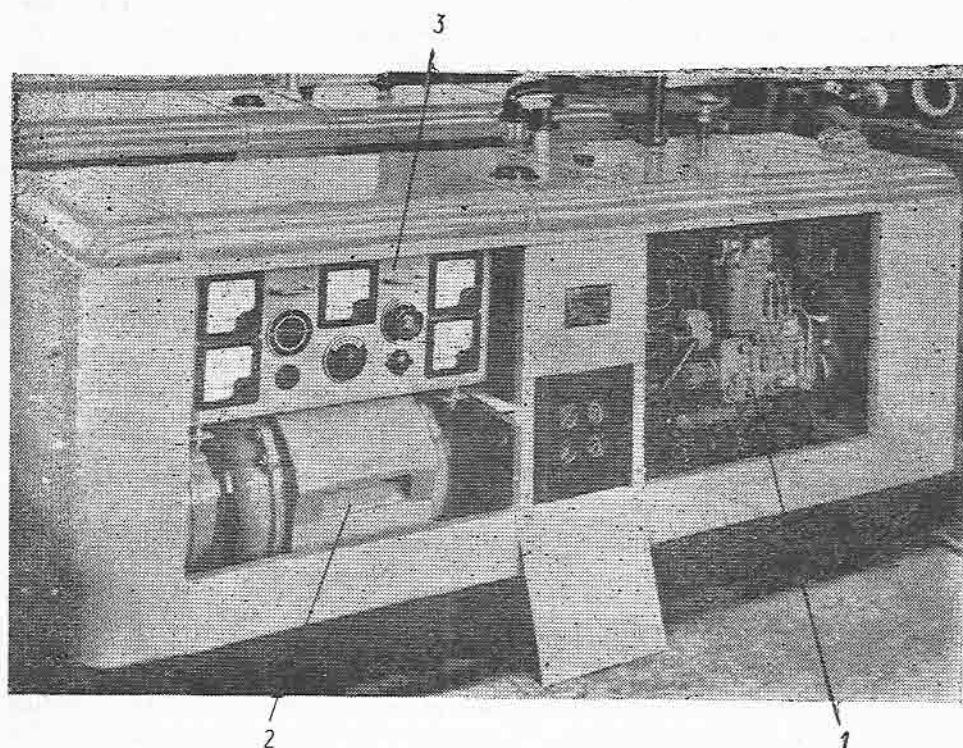


Fig. 20-1. Grup electrogen de 30 kVA, $3 \times 380/220$ V, 50 Hz
(microcentrală transportabilă) fabricat în Republica Socialistă România:

1 — motorul primar; 2 — generatorul trifazat (alternatorul); 3 — tabloul de comandă și control.

trice sînt tensiunile standardizate de 400; 220; 110; 35; 15; 10 și 6 kV. În afară de acestea, în țara noastră se mai folosesc și tensiunile de 60; 30; 15; 3 și 1 kV (nestandardizate).

3. STAȚII ȘI POSTURI DE TRANSFORMARE

Stațiile și posturile de transformare folosite în întreprinderile industriale au drept scop să reducă valoarea tensiunii energiei electrice de la tensiunile cu care a fost transportată, la tensiunile necesare distribuției și utilizării ei la receptoare (vezi capitolul XX-4).

După destinația lor, stațiile de transformare pot fi: *stații de transformare principale* (stația ST din figura 20-6, b), *stații de transformare secundare* sau *posturi de transformare* (PT, figura 20-6, b) etc. De obicei, prin post de tran-

sformare se înțelege stația de transformare în general de putere mică (de ordinul cel mult a câtorva sute de kVA) care alimentează receptoarele de joasă tensiune; cînd el alimentează un atelier sau un grup de receptoare dintr-un atelier se numește chiar post (stație) de atelier. Stația de transformare principală este o stație care alimentează, în afară de unele receptoare, și posturile de transformare.

În funcție de locul unde sînt montate, stațiile și posturile de transformare pot fi: *exterioare* sau *interioare*. Stațiile exterioare se montează în aer liber pe sol sau pe stîlpi speciali; cele interioare sînt montate în încăperi zidite special.

După numărul de transformatoare pe care le cuprind, stațiile și posturile de transformare ale întreprinderilor pot fi *cu unul sau cu mai multe transformatoare*; în cele mai dese cazuri, pentru a se asigura în bune condiții alimentarea neîntreruptă cu energie electrică a întreprinderii, se folosesc două transformatoare; mai rar se folosește un număr de cel mult trei transformatoare.

Pentru exemplificare, în figura 20-2 este reprezentată construcția unui post de transformare de tip interior, cu două transformatoare, iar în figura 20-3, schema electrică monofilară a unui post de transformare de tip exterior pe stîlp.

Schemele electrice pot fi multifilare sau monofilare. Într-o schemă multifilară diferitele circuite sînt reprezentate complet, fiecărui conductor corespunzîndu-i pe desen o linie. În schema monofilară, diferitele circuite sînt reprezentate simplificat prin cîte o singură linie, chiar dacă circuitul respectiv are mai multe conductoare. Numărul de conductoare pe care îl conține circuitul poate fi totuși indicat printr-un număr scris alături de o liniuță care taie oblic circuitul respectiv (fig. 20-3 sus). Schemele monofilare simplifică desenul și sînt indicate atunci cînd se arată schema de principiu a unei instalații.

Stațiile și posturile de transformare cuprind unul sau mai multe circuite de înaltă tensiune și o serie de circuite de joasă tensiune. Cînd la înaltă tensiune sînt mai multe circuite (sosiri de la sursa de energie, plecarea la transformatoare, sau eventual plecări spre alți consumatori de înaltă tensiune), aceste circuite sînt legate la bare colectoare comune pentru toate circuitele.

În mod asemănător, la joasă tensiune, sosirile de la transformatoare și plecările spre receptoare sînt legate tot la bare colectoare comune. Pe fiecare circuit, atît la înaltă, cît și la joasă tensiune, se montează aparatele de conectare, de protecție și de măsurat necesare (vezi schema din figura 20—3). Cu cît postul este de putere mai mică, cu cît numărul de transformatoare este mai redus și postul are importanță mai mică, cu atît numărul de transformatoare este mai redus și postul are importanță mai mică, cu atît și aparatele folosite sînt mai simple și mai puține pentru a nu ridica costul construcției. În cazul stațiilor și posturilor zidite, aparatul de înaltă tensiune se montează într-o încăpere separată, în care are acces numai personalul tehnic cu o calificare specială, iar transformatoarele se montează în boxe speciale, astfel amenajate încît să favorizeze răcirea transformatoarelor; pentru a limita efectele unui incendiu produs prin aprinderea uleiului în cazul exploziei cuvei, sub transformatoare se prevede uneori un canal colector de ulei.

Atunci cînd aparatele de joasă tensiune sînt puține, ele se montează într-o simplă nișă cu uși metalice, prevăzută în peretele exterior al postului.

Pentru lucrări de șantier se construiesc și posturi de transformare prefabricate, transportabile pe sanie sau pe roți.

Puterea transformatoarelor instalate într-un post de transformare trebuie să poată acoperi puterea cea mai mare cerută în funcționare normală de receptoarele alimentate. Pentru acestea trebuie să se țină seamă de

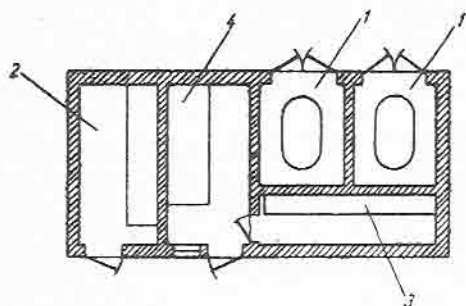


Fig. 20-2. Stație (post) de transformare, de tip interior, cu două transformatoare:

1 — boxele transformatoarelor; 2 — camera aparatului de înaltă tensiune; 3 — camera aparatului de joasă tensiune; 4 — încăperea condensatoarelor statice pentru îmbunătățirea factorului de putere.

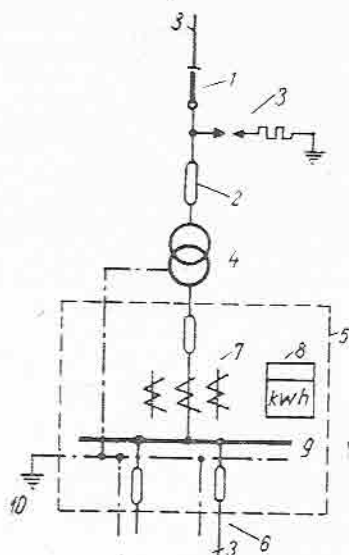


Fig. 20-3. Post de transformare de 6/0,4 kV, 20—100 kVA, de tip exterior pe stilp de beton armat centrilugat:

1 — separator; 2 — siguranțe tubulare; 3 — descărcător; 4 — transformator; 5 — cutia cu aparatul de joasă tensiune; 6 — plecări de joasă tensiune; 7 — transformatoare de curent; 8 — contor de energie activă; 9 — bare colectoare; 10 — priza de pământ.

faptul că nu toate receptoarele funcționează simultan și nu toate receptoarele sînt încărcate în permanență la puterea lor nominală; alcătuind o tabelă în care se indică la fiecare oră puterea cerută de fiecare receptor, se poate trasa o curbă de sarcină a receptoarelor și în felul acesta se determină puterea cea mai mare cerută de ele, în funcționare normală. Tot pe această cale se poate observa că organizînd procesul de producție într-un mod corespunzător, pot fi reduse vîrfurile de putere ale curbei de sarcină sau, cum se spune, se poate „aplatisa” curba de sarcină. Aplatizarea curbei de sarcină dă posibilitatea alimentării aceluiași grup de receptoare de la o stație sau un post de transformare cu o putere mai mică, ceea ce înseamnă reducerea volumului investițiilor și deci reducerea prețului de cost.

4. DISTRIBUȚIA ENERGIEI ELECTRICE

a. Generalități

Energia electrică sosită în cuprinsul unei întreprinderi sau al altui consumator de energie sau produsă local este distribuită spre fiecare receptor în parte, cu ajutorul rețelelor electrice a posturilor de transformare.

Oricare ar fi schema adoptată, alimentarea cu energie electrică trebuie să îndeplinească următoarele condiții principale :

— să asigure *alimentarea neîntreruptă cu energie* a receptoarelor ;

Din acest punct de vedere receptoarele se împart în trei categorii :

Receptoare de categoria I, la care întreruperea alimentării cu energie este legată de securitatea oamenilor, de producerea de rebuturi, deteriorări de utilaje sau perturbări mari în procesul tehnologic. Aceste receptoare trebuie prevăzute cu o alimentare de rezervă.

Receptoare de categoria a II-a, la care întreruperea alimentării cu energie produce numai o scădere importantă a producției. În acest caz, pe bază de considerente tehnico-economice se prevede sau nu o alimentare de rezervă.

Receptoare de categoria a III-a sînt receptoarele puțin importante, la care nu se prevede o alimentare de rezervă (ex. locuințe, ateliere auxiliare etc.).

— să asigure furnizarea unei energii de bună calitate, adică la o tensiune care să nu difere cu mai mult decît $\pm 5\%$ față de tensiunea nominală. Variațiile de tensiune sînt foarte supărătoare pentru iluminatul electric, deoarece produc pîlpîiri ale luminii (cînd frecvența pîlpîirilor ajunge la 6—8 pîlpîiri pe secundă, pîlpîirile de lumină sînt extrem de obositoare pentru vedere) ;

— să fie economică, adică să fie realizată cu un consum minim de materiale (în special neferoase), iar în funcționare pierderile de putere în rețea și transformatoare să nu depășească anumite limite ;

— să asigure o rezervă de putere pentru extinderile de viitor ;

— să prezinte securitate la deservire.

b. Tipuri de rețele și tensiuni folosite în distribuirea energiei electrice

Ținînd seama de felul receptoarelor, rețelele pot fi : *de forță*, cînd receptoarele sînt motoarele mașinilor de lucru, rezistențele cuptoarelor mari etc., sau *de lumină*, cînd receptoarele sînt lămpile de iluminat.

Rețelele electrice pot fi de asemenea, *de curent continuu* sau *de curent alternativ*. Rețelele de curent continuu, a căror schemă principală este repre-

zentată în figura 20-4, pot fi *complet izolate față de pământ* (ca la troiebuze) sau *cu unul din conductoare legate la pământ* (ca în cazul rețelei tramvaielor). Tensiunile folosite sînt 110, 220, și 440 V sau în cazul tracțiunii electrice, de 250, 500 și 750 V. Utilizarea rețelelor electrice de curent continuu este astăzi limitată la tracțiunea electrică și la utilizări speciale în unele industrii (electroliză, galvanizare, pe nave mici, acționări electrice cu reglaj de viteză în limite mari etc.).

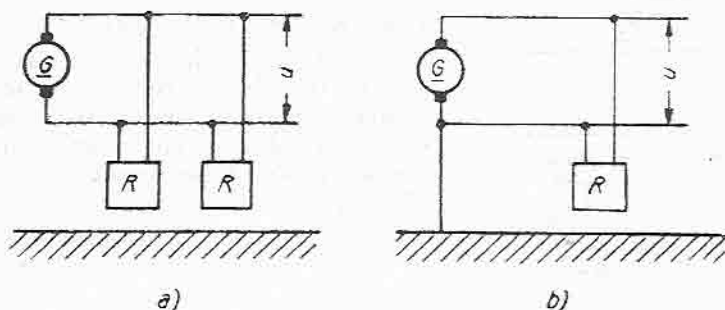


Fig. 20-4. Schemele de principiu ale rețelelor de curent continuu:

a — complet izolate față de pământ ; b — cu un pol legat la pământ ; R — receptor.

Rețelele de curent alternativ (fig. 20-5) pot fi *monofazate* sau *trifazate* și pot fi, de asemenea, *complet izolate față de pământ* sau *cu un punct legat la pământ*. Rețelele monofazate complet izolate față de pământ (fig. 20-5, a) sînt utilizate la iluminatul portativ cu tensiune redusă, la unele circuite de comandă etc. Tensiunile folosite sînt 12, 24, 36, 48, 110, 120 și 220 V. Rețelele monofazate cu un conductor legat la pământ (fig. 21-5, b) se întîlnesc la rețelele obișnuite de iluminat, la alimentarea receptoarelor monofazate, la unele circuite de comandă etc.

Rețelele trifazate pot fi *cu trei conductoare* (fig. 20-5, c și d) sau *cu patru conductoare* [trei conductoare de fază și conductorul neutru (fig. 20-5, e), avînd neutrul legat la pământ sau izolat]. Rețeaua cu patru conductoare are avantajul că dispune de două tensiuni: tensiunea de linie și tensiunea de fază. Rețeaua cu patru conductoare și neutrul legat la pământ este utilizată cel mai mult la joasă tensiune ; pentru alimentarea receptoarelor de forță și lumină. Receptoarele de forță trifazate R_3 sînt conectate între faze la 380 V ; receptoarele de lumină, cele de forță monofazate și de putere mică R_1 sînt conectate între fază și firul neutru, la 220 V.

Receptoarele monofazate R'_1 pot fi legate și între faze. Rețeaua cu trei conductoare, cu neutrul izolat se utilizează la înaltă tensiune (6 kV), la joasă tensiune la rețelele care alimentează numai receptoare de forță (1 000 V și 500 V), la rețelele care lucrează în condiții grele din punctul

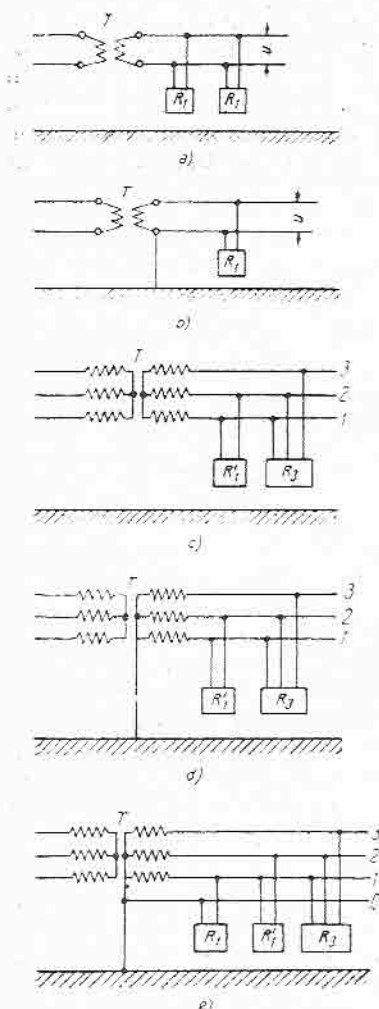


Fig. 20-5. Schemele de principiu ale rețelilor de curent alternativ:

a — monofază, complet izolată față de pământ; b — monofază, cu un conductor legat la pământ; c — trifază, cu trei conductoare, cu punctul neutru izolat; d — trifază, cu trei conductoare cu neutru legat la pământ; e — trifază, cu patru conductoare, cu neutru legat la pământ; R_1, R_2 — receptoare monofazate; R_3 — receptor trifazat.

de vedere al tehnicii securității (de exemplu în exploatarea miniere subterane, 380 V).

Tensiunile nominale (de linie) folosite pentru rețelele trifazate de distribuție sînt: 220, 380, 500, 660, 1 000, 3 000 și 6 000 V*. În prezent, se studiază posibilitatea folosirii pentru receptoarele de forță a tensiunilor de $660 \text{ V} = \sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}$ sau $865 \text{ V} = \sqrt{3} \cdot 500 \text{ V}$. Tendința de a mări tensiunea la receptoarele de forță este impusă de creșterea puterii receptoarelor industriale și de necesitatea construirii rețelilor și posturilor de transformare cu investiții minime.

Receptoarele de forță de putere mare sînt alimentate la tensiunea de 1 000 V sau 6 000 V (cazul receptoarelor cu puteri mai mari decît 150—200 kW).

În general, la întreprinderi, energia electrică este adusă la înaltă tensiune (fig. 20-6, a), apoi, printr-un singur post de transformare PT ca este transformată la tensiunea necesară (380 V) și distribuită receptoarelor R prin intermediul unor puncte de distribuție PD (vezi capitolul XII) (sistemul se numește „distribuție centralizată”). De multe ori, la întreprinderile mai mari, există o stație de transformare ST care alimentează cu tensiune înaltă (de obicei 6 kV) mai multe posturi de transformare TP care alimentează la rîndul lor — la joasă tensiune (380 V) grupe mari de receptoare; sistemul acesta se numește „distribuție repartizată” și este reprezentat schematic în figura 20-6, b.

Cînd receptoarele unei întreprinderi sînt de puteri mici și nu sînt numeroase, astfel încît nu totalizează o putere mare, întreprinderea este alimentată direct la joasă tensiune, de la un post de transformare apropiat, care deservește mai mulți consumatori.

*Tensiunile de 220, 500, 1000 și 3000 nu pot fi utilizate decît în instalațiile existente.

paratrăznetul este o tijă metalică bine legată la pământ printr-o priză de pământ. Priza de pământ este realizată fie printr-o placă metalică fie prin una sau mai multe țevi metalice îngropate în pământ și legate electric între ele (vezi capitolul (XXII-3). Zona cuprinsă în jurul paratrăznetului este ferită de lovituri directe de trăznet. Pentru a mări zona protejată se folosesc mai multe paratrăznete.

Contra supratensiunilor ce vin de pe rețelele aeriene și pătrund în instalațiile electrice se folosesc descărcătoarele. Descărcătorul este un aparat care se leagă între conductele liniei aeriene și pământ. Când tensiunea crește peste o anumită limită, descărcătorul „se amorsează”, scurgînd spre pământ sarcinile electrice care au produs supratensiunea; cînd tensiunea revine la normal, descărcătorul iese din funcțiune. Sub forma cea mai simplă, descărcătorul este construit ca un eclator.

Eclatorul se compune din două piese metalice, una legată la linie, iar alta la pământ; între cele două piese metalice se află un spațiu de aer. Când tensiunea liniei crește peste o anumită limită, spațiul de aer este străpuns iar sarcinile electrice datorate electricității atmosferice se scurg, prin arc format, de la linie la pământ; cînd tensiunea revine la normal arcul electric se stinge și legătura la pământ este întreruptă. Descărcătoarele moderne folosesc rezistențe variabile cu tensiunea; la creșterea tensiunii, rezistența descărcătorului scade, scurgînd sarcinile la pământ; la revenirea tensiunii la valoarea normală, rezistența descărcătorului devine din nou foarte mare, izolînd linia față de pământ.

În țara noastră se produc descărcătoare cu rezistență neliniară la întreprinderea „Electroputere” — Craiova, pe baza studiilor făcute de I.C.P.E.

Din păcate, filele
de la 329 la 356
lipsesc.

CAPITOLUL XXII

PROTECȚIA CONTRA ACCIDENTELOR DE ELECTROCUTARE

1. ACCIDENTE DE ELECTROCUTARE

Trecerea curentului prin corpul omenesc se numește electrocutare. În anumite condiții, cînd curentul care trece prin corpul omenesc depășește o anumită valoare (de obicei peste 50 mA), accidentele de electrocutare pot fi mortale.

Pentru ca prin om să treacă un curent electric, trebuie ca între două puncte ale corpului să i se aplice o tensiune electrică numită *tensiune de atingere* U_a . Curentul care va trece prin corpul omului depinde de valoarea acestei tensiuni și de rezistența electrică a corpului omenesc și va avea valoarea :

$$I = \frac{U_a}{R_{om}}$$

Rezistența corpului omenesc depinde de foarte mulți factori și poate fi de ordinul 100 000 Ω , cînd pielea este uscată și intactă ; ea scade la 800—1 000 Ω , cînd pielea este umedă și contactul este bine făcut. În calculele practice se consideră că rezistența minimă a corpului omenesc este de 1 000 Ω în locurile foarte periculoase (locuri și încăperi umede, încăperi cu vapori corozivi, cu praf bun conducător de electricitate, locuri cu temperatură peste 30°C etc.) și de 3 000 Ω în locuri periculoase (locuri în apropierea instalațiilor electrice deservite de personal calificat, încăperi cu pardoseală bună conductoare de electricitate — pămînt, cărămidă, beton, plăci metalice etc.). Folosirea în practică a mănușilor de cauciuc, a galoșilor de cauciuc și a covorașelor izolante are ca scop să mărească în mod artificial rezistența circuitului închis prin corpul omului, micșorînd astfel curentul electric care trece prin organism.

Curentul electric, trecînd prin organism, produce *șocuri electrice* și *traumatisme electrice*. Șocul electric este urmarea acțiunii curentului electric asupra organelor interne și asupra sistemului nervos ; șocul electric produce

zguduituri și comotii sau poate duce la oprirea respirației și la paralizia inimii, urmată de moarte. Intensitatea acestor efecte depinde de durata și de mărimea curentului și de drumul parcurs de curent prin corp. Situația cea mai periculoasă este atunci când tensiunea de atingere se aplică între *mîna dreaptă* și *picioare*, deoarece în acest caz, curentul care trece prin inimă este maxim.

Pe baza cercetărilor s-a stabilit că de la 30 mA în sus curentul devine periculos. Rezultă de aici că tensiunea de atingere de la care începe să apară pericolul, în caz de electrocutare, este :

$$U_a = R_{om} \cdot i_{om} = 1\,000 \cdot 0,03 = 30 \text{ V.}$$

Traumatismul electric constă în semne electrice (umflături pe piele), arsuri sau electrometalizări produse de acțiunea curentului și a arcului electric. Este de reținut că, oricît de grave ar fi traumatismele, ele produc rareori moartea. *În general, dacă inima nu a încetat să bată, un electrocutat moare prin asfixie, din cauza paraliziei mușchilor respiratorii. De aceea, făcînd respirația artificială unui electrocutat el poate fi readus la viață.* Respirația artificială făcută rațional, așa cum se arată în normele de tehnică a securității și un timp suficient de lung, care uneori poate atinge 6 și chiar 8 ore. Uneori, în practică se face greșeala de a nu începe respirația artificială imediat sau, din lipsă de instruire, ea este făcută într-un mod defectuos, ceea ce duce la pierderea unei vieți care putea fi salvată.

2. PRODUCEREA ACCIDENTELOR DE ELECTROCUTARE ȘI MIJLOACE PENTRU PREVENIREA LOR

Cauzele accidentelor de electrocutare sînt :

a) atingerea de către om a pieselor sub tensiune, de exemplu, a conductoarelor unei linii aeriene, a bornelor unui aparat etc.;

b) atingerea pieselor care în mod normal nu sînt sub tensiune (de exemplu a carcaselor mașinilor, a carcaselor aparatelor etc.), dar care ajung sub tensiune în mod accidental, de cele mai multe ori în urma unor defecte de izolație.

Din analiza cauzelor rezultă și principalele mijloace de prevenire a accidentelor de electrocutare. Astfel, pentru a micșora riscul atingerii pieselor sub tensiune, instalațiile și aparatele electrice sînt construite în așa fel, încît piesele sub tensiune nu sînt accesibile. Pentru aceasta se respectă anumite norme de construcție, se asigură o izolare corespunzătoare sau se fac uneori o serie de blocaje mecanice și electrice, care nu permit atingerea pieselor (contacte, relec etc.) decît după scoaterea lor de sub tensiune (nu se poate

deschide carcasa unui aparat decît după ce au fost scoase de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse cînd carcasa este deschisă; repunerea sub tensiune se poate face numai după ce se reînchide carcasa). În alte cazuri, pentru ca atingerea pieselor sub tensiune să nu reprezinte un pericol se utilizează tensiunii reduse și anume: 12 V, 24 V, 36 V, 48 V.

Pentru a micșora riscul atingerii sub tensiune a pieselor metalice care, în mod accidental, pot ajunge sub tensiune, se întreține în cît mai bune condiții izolația instalației, iar piesele metalice, care, în mod normal, nu sînt sub tensiune, se leagă la pămînt prin prize de pămînt sau se leagă la

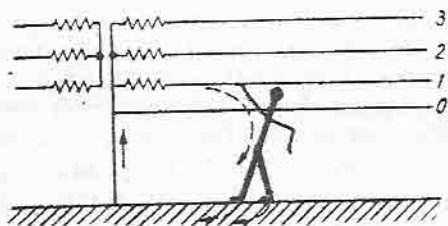


Fig. 22-1. Atingerea de către om a unei singure faze la rețeaua cu neutrul legat la pămînt.

firul neutru; dacă aceste piese pot veni, în mod normal, în contact cu corpul omenesc (ex. mînerile uneltelor electrice), ele se acoperă și cu un strat izolant (cauciuc).

Cazul cel mai periculos de electrocutare este atunci cînd omul atinge simultan două faze ale rețelei; în această situație, oricare ar fi tensiunea rețelei (127, 220, 380, 500 sau 660 V), curentul care trece prin corpul omului este periculos și poate produce moartea.

Practic însă, cele mai frecvente accidente se întîmplă prin atingerea unei singure faze a rețelei de către un om care stă cu picioarele pe pămînt. În această situație, dacă rețeaua are neutrul legat la pămînt (fig. 22-1), tensiunea de atingere va fi cel mult egală cu tensiunea de fază a rețelei. În rețeaua cu neutrul izolat, atingerea unei faze (fig. 22-2) nu duce la nici un accident,

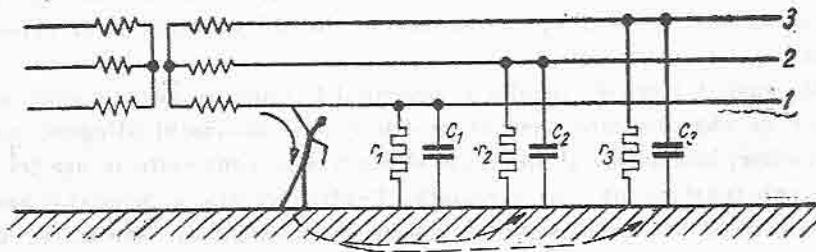


Fig. 22-2. Atingerea de către om a unei singure faze la rețeaua cu neutrul izolat.

deoarece atit timp cît izolația rețelei față de pămînt este bună, prin corpul omului nu trece un curent periculos; cu cît însă rezistențele de izolație r_1 , r_2 și r_3 sînt mai mici și cu cît capacitățile C_1 , C_2 și C_3 ale fazelor față de pămînt sînt mai mari (cazul unei rețele cu o lungime mare de linii și cabluri), curentul care trece prin corpul omului crește și poate deveni periculos. În acest caz, circuitul electric este următorul (fig. 22-2): faza 1, corpul omului, rezistența r_2 în paralel cu capacitatea C_2 , faza 2 și tot de la corpul omului mai departe rezistența r_3 în paralel cu capacitatea C_3 , faza 3. (Curenții care trec prin capacitățile fazelor față de pămînt se numesc *curenți capacitivi*). În cazul particular, cînd una dintre faze este pusă la pămînt și omul atinge una din celelalte două faze, pericolul este maxim, deoarece tensiunea de atingere devine egală cu tensiunea de linie.

Este de remarcă că punerea la pămînt a unei singure faze în rețeaua cu neutrul izolat nu duce la apariția unui curent de scurtcircuit și de aceea nu implică deconectarea circuitului respectiv. Este necesar însă ca printr-un control riguros al izolației rețelei să se detecteze imediat orice defect de izolație între o fază și pămînt (defect monofazat) și să se înlăture pentru a se evita astfel, pericolul maxim arătat mai înainte.

În rețeaua cu neutrul legat de pămînt, atingerea unei faze este totdeauna periculoasă, iar punerea la pămînt a unei faze duce, în acest caz, la apariția unui curent de scurtcircuit monofazat, ceea ce impune deconectarea circuitului respectiv. Rețeaua cu neutrul legat la pămînt are însă avantajul că oferă două tensiuni (tensiunea de fază, folosită pentru receptoarele de iluminat și unele receptoare de forță monofazate și tensiunea de linie folosită pentru receptoarele de forță).

De aceea, deși din punctul de vedere al pericolului de electrocutare, rețeaua cu neutrul izolat este mai avantajoasă, ea nu are totuși utilizare

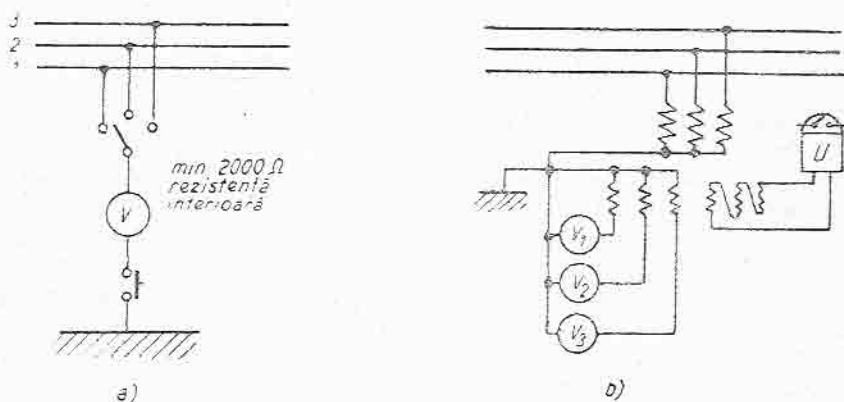


Fig. 22-3. Controlul izolației într-o rețea cu neutrul izolat:

a) prin folosirea unui singur voltmetru; b) prin folosirea a trei voltmetre și a unui transformator de tensiune.

generală, ci ea se utilizează numai acolo unde pericolul de electrocutare este foarte mare, ca, de exemplu, în exploatările miniere subterane, sau acolo unde nu este nevoie de două tensiuni.

Controlul izolației rețelei cu neutrul izolat se efectuează, rețeaua fiind în funcțiune, folosind un voltmetru legat pe rînd între faze și pămînt (fig. 22-3, *a*) sau trei voltmetre legate între faze și pămînt prin intermediul unui transformator pe tensiune special, cu cinci coloane (fig. 22-3, *b*). În mod normal, fiecare voltmetru indică tensiunea de fază a rețelei.

La apariția unui defect de izolație între fază și pămînt, tensiunea fazei respective față de pămînt scade, iar tensiunile celorlalte două faze cresc spre valoarea tensiunii de linie. În cazul folosirii transformatorului cu cinci coloane, acesta mai dispune de trei bobinaje auxiliare care — legate în serie — alimentează un releu de tensiune; tensiunea produsă de ele este cu atît mai mare, cu cît defectul de izolație este mai pronunțat; la un anumit grad de defect, releul pune în funcțiune o semnalizare sau comandă chiar deconectarea circuitului.

Aceste sisteme nu sînt însă prea corespunzătoare în rețelele de cabluri. În aceste cazuri, sistemele moderne de control al izolației rețelei cu neutrul izolat se bazează pe măsurarea în curent continuu a rezistenței de izolație cînd rețeaua este în funcțiune.

3. PROTECȚIA CONTRA ELECTROCUTĂRII PRIN LEGAREA LA PĂMÎNT

Toate carcasele mașinilor și aparatelor, precum și alte piese metalice care pot fi atinse, de exemplu, manșoanele de legătură, armătura cablurilor etc. care, în mod normal, sînt izolate de piesele sub tensiune, dar accidental, pot ajunge sub tensiune, se leagă la pămînt cu ajutorul prizelor de legare la pămînt. Prin aceasta se urmărește ca pămîntul și diferitele piese metalice să fie legate electric între ele și să aibă mereu același potențial; în această situație, un om care, stînd cu picioarele pe pămînt, atinge o piesă metalică (ajunsă accidental sub tensiune), nu va mai fi supus unei diferențe de potențial — prin corpul lui nu va mai trece un curent și deci nu va mai fi electrocutat. În realitate, datorită curenților* care se scurg prin priza de pămînt, atunci cînd apare tensiune pe piesa legată la pămînt, între piesa respectivă și pămînt apare totuși o diferență de potențial, egală cu căderea de tensiune RI produsă de trecerea curenților (de scurgere) prin priza de pămînt; de aceea, pentru ca tensiunea de atingere să fie cît mai mică, trebuie ca rezistența prizei de pămînt să fie cît mai mică și curenții de scurgere să fie cît mai mici. După cum s-a arătat curenții sînt mici numai în rețelele cu neutrul izolat; de aceea, în aceste rețele, protecția prin legarea la pămînt este eficace.

În rețelele cu neutrul legat la pămînt, curenții de scurgere sînt mari și de aceea tensiunile de atingere pot fi mari; aici însă, la apariția unui defect de izolație, se contează pe deconectarea automată a circuitului respectiv. Pentru ca, în adevăr, curentul care apare la un defect monofazat de izolație

* Curentul de scurtcircuit monofazat la rețeaua cu neutrul legat la pămînt; curenții capacitivi și prin rezistența de izolație la rețeaua cu neutrul izolat.

să fie suficient de mare ca să poată provoca arderea siguranței sau deschiderea întreruptorului automat, toate piesele metalice (carcasele) se leagă în mod obligatoriu la firul neutru ; firul neutru este legat la pământ în mai multe puncte. În acest caz, se spune că protecția se face prin legarea la firul neutru (sau la nul).

Prizele de legare la pământ se construiesc din electrozi formați din țevi de oțel cu un diametru de minimum 35 mm și cu o lungime de cel puțin 1,5—3 m, îngropați într-un pământ cu o rezistivitate cât mai mică (în acest scop, pământul poate fi umezit sau tratat special cu săruri). Legarea pieselor metalice la prizele de pământ se face prin conductoare de oțel de o secțiune de cel puțin 50 mm².

În locul țevelor, se pot utiliza benzi de oțel sau plăci de oțel cu o suprafață de cel puțin 0,6 m². Rezistențele prizelor astfel construite cu un singur electrod, sînt de ordinul zecilor de ohmi ; pentru a obține rezistențe mai mici se leagă mai mulți electrozi în paralel (se fac prize multiple). Prizele se dimensionează astfel, încît la cel mai mare curent de scurgere al instalației respective, tensiunile de atingere să nu depășească : 40 V — la instalații mobile în general, sau la orice instalație în subteranul minelor ; 65 V — la instalații fixe ; 150 V — la stațiile de transformare cu personal de deservire ; 200 V la stațiile de transformare fără personal de deservire.

CAPITOLUL XXIII

TRACȚIUNEA ELECTRICĂ

1. NOȚIUNI GENERALE CLASIFICAREA PRINCIPALELOR TIPURI DE TRACȚIUNE ELECTRICĂ

Una din cele mai importante aplicații ale electricității o constituie tracțiunea electrică, adică utilizarea motoarelor electrice pentru acționarea diferitelor mijloace de transport.

Spre deosebire de alte sisteme de motoare, cum sînt cele cu abur sau cu explozie, care produc energia mecanică direct din combustibili, constituind adevărate uzine mobile atunci cînd sînt folosite pe vehicule și funcționînd cu randament scăzut, motorul electric reprezintă un transformator de energie electrică în energie mecanică cu randament mare.

Ținînd seama de faptul că randamentul mașinilor electrice mari depășește în general 0,95 și că randamentul centralelor termoelectrice este mult superior celui al motoarelor termice mici care se pot monta pe vehicule, se deduce lesne că, din punctul de vedere al economiei de combustibil, tracțiunea electrică este mai avantajoasă decît alte mijloace de tracțiune care produc energie mecanică direct din combustibili.

Motoarele electrice au o greutate, un gabarit și un cost cu mult mai redus decît orice alt sistem de acționare, însă necesită în schimb instalații speciale de linii de contact, rețele de transport și substații electrice.

În consecință, cu cît numărul de vehicule în funcțiune este mai mare, cu atît avantajul tracțiunii electrice este mai mare.

Alte avantaje ale tracțiunii electrice sînt :

- lipsa fumului, avantaj deosebit de important la utilizarea tracțiunii electrice în mine, în uzine, pe traseele subterane, sau în interiorul aglomerațiilor de locuințe ;

- mărirea vitezei transporturilor efectuate, prin faptul că accelerarea vehiculului poate fi sporită, cuplul de pornire al motoarelor electrice folosite în tracțiune fiind mai mare decît cuplul de pornire al motoarelor cu abur sau cu explozie ;

— realizarea unui cuplu motor uniform care, împreună cu micșorarea timpului de pornire și oprire, conduce la scurtarea timpului de ocupare a liniei între stații și la sporirea capacității de transport a unei linii date ;

— posibilitatea recuperării unei părți din energia consumată de alte convoaie, prin restituirea în rețeaua de alimentare a energiei cinetice prin efectuarea frânării electrice recuperative la opriri sau la coborâri de pante mai lungi.

Afară de avantajele amintite, se mai pot cita altele :

— o importantă economie de transport, prin faptul că dispăre necesitatea de a transporta combustibil mult și greu, cum este cazul la tracțiunea cu abur ;

— locomotivele electrice au o mare capacitate de supraîncărcare temporară ;

— tracțiunea electrică permite comanda dintr-un singur post a mai multor vehicule motoare ;

— locomotivele electrice au posturi de comandă la ambele capete, deci nu mai este necesară placa turnantă sau manevre în triunghi ;

— personalul utilizat lucrează în condiții mult mai ușoare, fără a fi supus intemperiilor și fără a executa munci fizice grele.

Dezavantajele pe care le prezintă față de tracțiunea cu abur, sînt :

— cost mai ridicat atît pentru locomotiva propriu-zisă, cît și pentru instalațiile fixe ;

— necesită un personal cu o calificare tehnică ridicată.

Clasificare. Tracțiunea electrică se poate clasifica după mai multe criterii :

a) În funcție de poziția pe care o ocupă liniile de trafic față de așezările omenești, tracțiunea poate fi *urbană* sau *feroviară*.

b) În funcție de felul energiei electrice folosite : în *curent continuu*, în *curent alternativ monofazat* sau în *curent alternativ trifazat*.

c) În funcție de mărirea tensiunii de distribuție a energiei electrice: de *joasă tensiune* (numai în curent continuu pînă la 500 V) ; și de *întîlă tensiune* (600—3 000 V pentru curent continuu și 27 000 pentru curent alternativ).

d) În funcție de felul alimentării cu energie electrică : prin *linii de contact* alimentate de la *centrale* sau *stații de redresare*, respectiv de *transformare* ; prin *acumulatoare* schimbate periodic sau realimentate la stații fixe ; prin *grupuri generatoare* acționate direct de motoare, de obicei cu combustie internă și mai rar de turbine, instalate pe vehicule.

2. TRACȚIUNEA ELECTRICĂ FERROVIARĂ

Tracțiunea electrică feroviară poate fi clasificată în :

— tracțiune electrică propriu-zisă, în care energia mecanică e produsă de motoare electrice alimentate de la o linie de contact ;

— tracțiune Diesel-electrică, în care se folosesc de asemenea motoare electrice, însă alimentarea acestora se face de la un generator plasat pe locomotivă și antrenat de un motor Diesel. Din aceeași categorie face parte și tracțiunea abur-electrică.

Tracțiunea electrică. O instalație de tracțiune electrică feroviară cuprinde în mod obișnuit elementele schițate în figura 23-1.

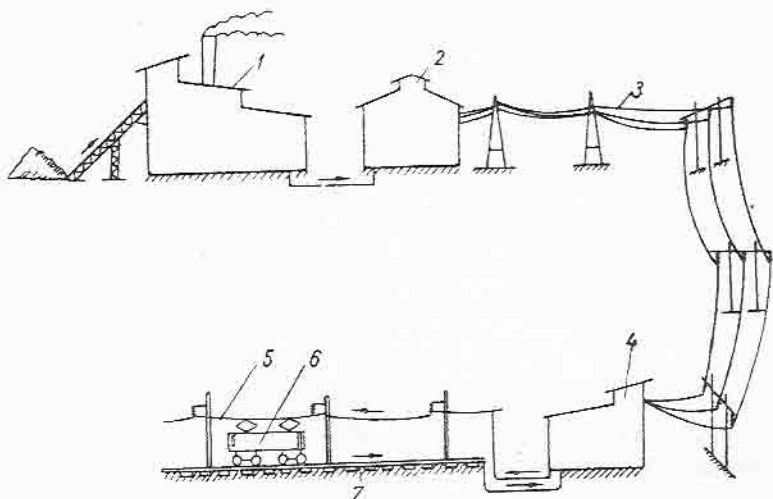


Fig. 23-1. Schema unei instalații de tracțiune electrică feroviară.

Centrala electrică 1, care poate fi termoelectrică (cazul din figură) sau hidroelectrică, furnizează energia electrică care este transformată de stațiile de transformare 2 la o tensiune înaltă și apoi este transportată prin liniile 3 la substațiile electrice de tracțiune 4, plasate de-a lungul căii ferate și care alimentează tronsoane de lungimi potrivite ale liniei de contact 5. Locomotivele electrice 6 preiau energia electrică de la linia de contact și o transformă în energie mecanică, de tracțiune. Drept conductor de întoarcere a curentului electric la substații servește calea de rulare a liniei ferate 7, care trebuie să prezinte deci continuitate electrică.

Sistemele de tracțiune electrică feroviară se deosebesc ținând seama de felul curentului la linia de contact și pot fi: în curent continuu, în curent alternativ monofazat cu frecvență redusă ($16\frac{2}{3}$ sau 25 Hz), în curent alternativ monofazat cu frecvență industrială (50 Hz) și în curent alternativ trifazat (tot 50 Hz).

Sistemul în curent continuu se realizează principal conform figurii 23-2. Substațiile de tracțiune sînt alimentate din rețeaua generală de transport,

triazată, de 50 Hz și produc curent continuu prin redresarea curentului alternativ cu un număr de faze mai mare decât trei (de obicei 12—18); în acest scop, se folosesc transformatoare cu secundarul special. Tensiunile uzuale la linia de contact sînt: 1,5; 3 și 3,3 kV, limitarea fiind impusă de funcționarea motoarelor serie de curent continuu de pe locomotivă.

Avantajul principal al acestui sistem constă în faptul că motoarele de curent continuu serie folosite sînt foarte robuste, simple și reprezintă caracteristici ideale pentru tracțiune. În plus, se poate realiza ușor frinarea

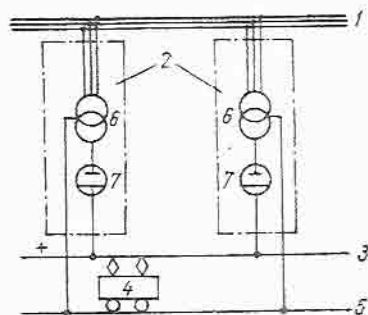


Fig. 23-2. Sistem de tracțiune feroviară în curent continuu:

- 1 — linie generală de transport de energie electrică;
- 2 — substație de tracțiune;
- 3 — linie de contact;
- 4 — locomotivă electrică;
- 5 — cale de rulare;
- 6 — transformatoare trifazate coborîtoare de tensiune;
- 7 — redresoare.

electrică reostatică sau recuperativă. Dezavantajele sînt: substații complicate și numeroase, din cauza tensiunii reduse la firul de contact, ceea ce duce de asemenea la un consum mare de cupru pentru linia de contact.

Sistemul în curent alternativ trifazat se folosește rar din cauza complicațiilor care apar în stații și la încrucișări la linia de contact bifilară.

Sistemul monofazat cu frecvență redusă $16\frac{2}{3}$ și 25 Hz a apărut la începutul introducerii tracțiunii electrice, pentru a se putea folosi motoarele monofazate serie cu colector, cu o funcționare acceptabilă din punctul de vedere al comutației. Sistemul prezintă avantajul că permite utilizarea unei tensiuni ridicate la linia de contact (15 000 V), deci secțiune redusă a conductorului de contact și distanțe mari între substațiile de tracțiune (50—70 km). De asemenea, are avantajul unei mari elasticități în exploatare, deoarece faptul că pe locomotivă există un transformator coborîtor de tensiune cu multe prize pentru reducerea și reglajul tensiunii aplicate motorului, permite un reglaj fin al vitezei. Ca dezavantaj principal trebuie menționat acela că sistemul reclamă sau o rețea proprie de tracțiune de frecvență redusă (fig. 23-3, a), ceea ce este costisitor, sau reducerea frecvenței industriale, de la 50 Hz, în substațiile de tracțiune, ceea ce le complică și le scade randamentul (fig. 23-3, b).

Sistemul monofazat cu frecvența industrială (50 Hz) a rezultat din tendința de a simplifica și ieftini instalațiile fixe de tracțiune, menținându-se totuși tensiunea ridicată la linia de contact (fig. 23-4). Acest sistem intru-nește toate avantajele sistemelor precedente și de aceea, în ultimii ani, câștigă din ce în ce mai mult teren și apare ca un sistem de tracțiune feroviară a viitorului.

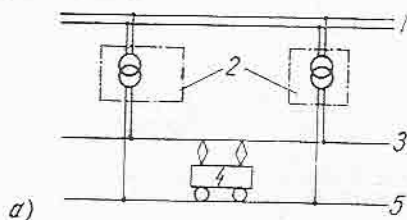


Fig. 23-3. Sistemul de tracțiune feroviară în curent alternativ monofazat și frecvență redusă, cu alimentarea din:
a — rețeaua proprie, de frecvență joasă; b — rețeaua de frecvență industrială (50 Hz).

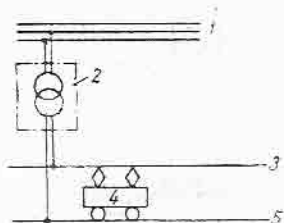
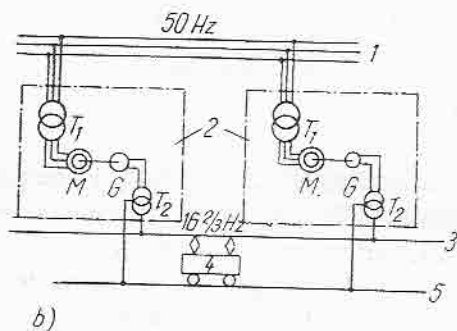


Fig. 23-4. Sistem de tracțiune feroviară în curent alternativ monofazat, de frecvență industrială (50 Hz).

Dificultatea principală la acest sistem este aceea de a se crea un motor serie cu colector pentru tracțiune, capabil să funcționeze la 50 Hz. Problema nu este încă definitiv rezolvată.

Există însă și alte variante ale acestui sistem, ca, de exemplu, acela cu locomotivă convertizoare, având montat pe locomotivă un convertizor sau un redresor (cu siliciu), care transformă curentul alternativ de 50 Hz în curent continuu, astfel încât motoarele de tracțiune sînt de curent continuu. Locomotivele fabricate de Uzinele Electroputere Craiova au performanțe din cele mai ridicate: viteza 100 km/h, puterea 2 200 CP, și respectiv 7350 CP, dezvoltată prin cîte 6 motoare de curent continuu și comanda automatizată în funcție de puterea cerută de traseu și de trafic. Locomotivele electrice au alimentarea în curent alternativ de 27 kV, 50 Hz, redresarea curentului fiind făcută cu redresoare cu siliciu, de 800 V tensiune nominală, alimentate prin transformator graduator cu 40 trepte, cu reglajul automat al tensiunii.

3. TRACȚIUNEA ELECTRICĂ URBANĂ

Prin tracțiune electrică urbană se înțelege aplicarea electricității la propulsia mijloacelor de transport în comun, în interiorul orașelor, pe trasee dinainte stabilite.

Caracteristica principală a tracțiunii electrice urbane (figura 23-5) constă în folosirea unor rețele de contact 4 instalate pe trasee fixe, prin care sînt alimentate cu energie electrică motoarele vehiculelor mobile 6, 7, 8 de la substații de alimentare fixe 1, deservite de instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Mijloacele de transport urban în comun se împart în două mari categorii :

— mijloacele de transport pe străzi, a căror circulație se face în comun cu a celorlalte vehicule (tramvaiul, troleibuzul, autobuzul, ș.a.);

— mijloace de transport în afara străzilor, care au o cale de rulare proprie la un nivel diferit de cel al străzilor (metropolitanele și căile ferate sub-urbane și de centură).

Mijloacele de transport în comun pe străzi sînt cele mai vechi și mai importante, asigurînd și astăzi cea mai mare parte din traficul intern al orașelor.

Tramvaiele electrice reprezintă un mijloc de transport în comun foarte răspîndit, fiind compus din vagoane de pasageri automotoare, cu sau fără remorci, care circulă pe șine montate pe străzi. Alimentarea lor se face în curent continuu sub tensiune de 550 sau 750 V de la un conductor de contact (fig. 23-5, a), întoarcerea curentului făcîndu-se prin șine.

Troleibuzele reprezintă un mijloc de transport în comun mai modern, care are caracteristici comune cu tramvaiul (fiind alimentat printr-o rețea de contact) și cu autobuzul (avînd roțile cu cauciucuri și oarecare libertate în circulația sa care se face totuși după un traseu anumit). Întrucît întoarcerea curentului nu se mai poate face prin șine, rețeaua electrică de contact este prevăzută cu două conductoare (fig. 23-5, b). Tensiunea de serviciu a rețelei este de 750 V și chiar mai mult (1 000 sau 1 500 V).

În afară de aceste mijloace de transport, pe străzi se folosesc, mai rar, și alte mijloace de transport care derivă din acestea prin anumite modificări și anume :

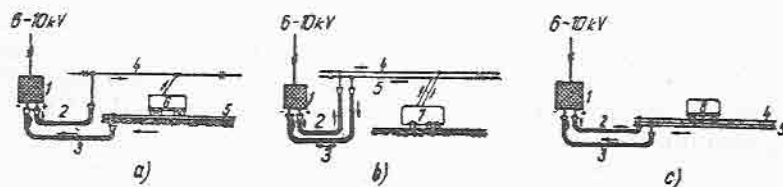


Fig. 23-5. Schema unei instalații de tracțiune electrică urbană :

1 — substație de alimentare; 2 — cablu de alimentare; 3 — cablu de întoarcere; 4, 5 — rețea de contact; 6 — vagon de tramvai; 7 — troleibuz; 8 — vagon de metropolită.

Autobuzele cu transmisie electrică, care sînt de fapt autobuze echipate cu motoare Diesel și cu o transmisie electrică în locul uneia mecanice, formată dintr-un generator care alimentează unul sau mai multe motoare electrice cuplate cu osiile motoare.

Acubuzele. Acestea sînt vehicule asemănătoare cu autobuzele, dar sînt acționate prin motoare electrice alimentate cu curent electric furnizat de o baterie de acumulatori montată pe vehicul și care se încarcă periodic.

Electrocarele. Sînt vehicule mici folosite pentru transporturi în ateliere, magazine, gări etc. Energia electrică este furnizată de baterii de acumulatori montate chiar pe vehicule. Pot avea platforme de încărcare fixe sau care se pot ridica.

Locomotivale electrice de mină. Sînt acționate de motoare de curent continuu alimentate de baterii de acumulatori montate pe ele. Se folosesc în mine pentru remorcarea convoaielor de vagonete cu minereu.

Electrobuzele cu curenți de înaltă frecvență sînt vehicule de transport acționate de motoare electrice alimentate cu energie electrică prin inducție prin conductoare montate în tuburi sub pavajul străzii și străbătute de curenți de înaltă frecvență, rețeaua de contact fiind astfel suprimată. Randalmentul transmisiei energiei electrice prin cuplaj inductiv la distanță fiind redus, acest tip de vehicul nu este folosit în mod curent și se află încă în stadiu de experimentare.

Girobuzele sînt vehicule asemănătoare cu acubuzele, dar la care acumularea energiei necesare pentru acționare este obținută sub formă de energie cinetică, înmagazinată într-un volant adus la o turație ridicată cu ajutorul unui motor electric alimentat de la instalații fixe, plasate în anumite puncte ale traseului.

Mijloacele de transport în comun în afara străzilor sînt de fapt căi ferate cu cale de rulare proprie, plasată la un nivel diferit de nivelul străzilor, pentru ca circulația lor să nu stînjenească circulația celorlalte vehicule.

Metropolitanul (metroul) este mijlocul de transport care utilizează căi ferate instalate în interiorul orașelor, cu mici extinderi în comunele suburbane învecinate, circulația trenurilor făcîndu-se într-o succesiune regulată, la intervale scurte, ca și la tramvaie (1,5—2 min) pe cale dublă (dus și întors). Pe porțiunile de traseu comune cu alte trasee de metropolitan, sau la încrucișări de linii, fiecare linie este plasată la un nivel diferit de celelalte. În acest scop, calea metropolitanului este fie înălțată pe toată lungimea traseului, pe deasupra solului, pe estacade, sub forma unui viaduct construit deasupra unei porțiuni din bulevardele orașului, fie de preferință în subteran, sub forma unui tunel executat sub nivelul străzilor sau la mare adîncime. Trenurile au 6—8 vagoane mari de construcție specială, cele mai multe fiind vagoane electromotoare conduse de un singur manipulant prin comandă electrică multiplă.

Căile ferate suburbane și de centură sînt la fel cu căile ferate interurbane, dar se întind puțin în jurul orașelor (pînă la 50—60 km), au traseul situat în parte în interiorul orașului și au o frecvență de circulație a trenurilor mai mare decît căile ferate normale.

CAPITOLUL XXIV

SUDAREA ELECTRICĂ

1. NOȚIUNI GENERALE.

CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE ELECTRICĂ

Definiții. Sudarea electrică constituie unul dintre cele mai rapide, mai ușoare și mai ieftine procedee de îmbinare a pieselor metalice. Îmbinarea realizată prin sudare constă în intrarea atomilor de la periferia pieselor de sudat într-o rețea cristalină comună. Dacă piesele au aproape aceeași compoziție chimică, sudarea este *omogenă*; în practică, acest procedeu este denumit *sudare autogenă*, ori mai simplu, *sudare*. Dacă cele două piese au compoziții diferite, sudarea este *eterogenă*; în vorbirea curentă această sudare este denumită *lipitură*.

Clasificare. Sudarea electrică se poate executa :

— în stare solidă, printr-o acțiune mecanică de presare și la temperatură potrivită, încălzirea fiind produsă prin trecerea curentului electric prin piesele de sudat. Acest procedeu poartă numele de *sudare prin rezistență de contact*;

— în stare lichidă, prin topirea capetelor care urmează să fie sudate sau prin topirea unui metal de adaos care mijlocește sudarea, provocată de un arc electric. Acest procedeu poartă numele de *sudare cu arc electric*.

Lipirea electrică se execută numai în stare lichidă, prin formarea unui aliaj între piesele de îmbinat și un material așezat între ele, a cărui temperatură de topire este inferioară celei a pieselor de lipit.

Aplicațiile sudării în tehnică sînt foarte numeroase : în construcțiile metalice, la construcții de rezervoare, conducte, șine de cale ferată, autovehicule, nave, avioane, turbine, mașini agricole, aparate casnice, aparate de radio etc.

Sudarea electrică se execută atît manual, în cazul atelierelor mici sau al șantierelor, cît și automat, în instalațiile industriale mari. Puterea generatoarelor și a transformatoarelor de sudare manuală este de cîtiva kilowați sau zeci de kilowați ; prin urmare, racordul acestor aparate la rețeaua electrică se poate face cu ușurință, în oricare loc. Pentru sudarea automată, puterea instalațiilor este mai mare și costul lor mai ridicat.

Sudarea prin rezistență de contact se aplică mai ales la producția în serie și este cea mai indicată pentru automatizare. Puterea electrică necesară este de ordinul sutelor de kilowați. Pentru atelierele mici, cel mai potrivit procedeu este acela al sudării cu arc electric.

Față de alte procedee de sudare (prin focul de forjă, cu gaz și aluminotermică), sudarea electrică se distinge prin folosirea unei energii ieftine și ușor accesibile la orice loc de lucru, și prin faptul că nu modifică structura internă a materialelor sudate, păstrându-le rezistența de rupere la valori foarte ridicate (aproape 100%). Sudarea electrică prin rezistență de contact mai are și avantajul că, în afară de energia electrică, nu are nevoie de nici un fel de material de adaos și la sudare nu intervin nici radiații nocive, nici gaze dăunătoare sănătății, nici gaze deflagrante.

2. SUDAREA ELECTRICĂ PRIN REZISTENȚĂ DE CONTACT

Această metodă de sudare se bazează pe efectul termic al trecerii curentului electric prin rezistența pe care o constituie suprafața de contact a pieselor ce urmează a fi îmbinate; dacă aceste piese sînt în același timp strinse laolaltă cu o astfel de forță, încît în regiunile lor marginale să se producă o deformare plastică, adică alunecări, atomii marginali intră în sferele lor reciproce de atracție și se încadrează într-o rețea cristalină comună. Sudarea prin această metodă se poate obține cu atît mai ușor cu cît temperatura produsă de trecerea curentului prin rezistența de contact este mai înaltă, din cauza posibilității mărite de a se produce deformarea plastică și a mobilității mărite pe care o au atomii.

Oricît ar părea de netede suprafețele pieselor de sudat, ele nu fac contact decît în câteva puncte (v. fig. 12-1). În aceste puncte densitatea de curent este foarte mare. Gîturile liniilor de curent determină o *rezistență mare de contact* R . Căldura dezvoltată în unitatea de timp, fiind concentrată numai în anumite puncte, materialul se încălzește foarte mult în acele puncte și, datorită forței de compresiune exercitate asupra celor două piese, se produce o deformare și apar noi puncte de contact; încălzirea se extinde astfel, treptat asupra întregii suprafețe de contact, aducînd-o la temperatura necesară sudării.

După metoda folosită procedeele de sudare prin rezistență de contact se clasifică în:

- sudare în stare solidă;
- sudare prin topire intermediară;
- sudare prin energie înmagazinată.

După modul de îmbinare a pieselor sudate, se deosebesc: sudare prin puncte (fig. 24-1, *a*), sudare prin cusătură (fig. 24-1, *b*) și sudare cap la cap (fig. 24-1, *c*).

Sudarea în stare solidă constă în trecerea curentului prin piesele de sudat apăsate continuu cu o forță exterioară; sub efectul trecerii curentului, suprafețele de contact se încălzesc la o temperatură înaltă, iar sub influența compresiunii, se produce refularea materialului și deci sudarea. Dezavantajul acestui procedeu constă în faptul că impuritățile de pe suprafețe și oxizii care se formează în cursul încălzirii rămân incluși în sudură.

Sudarea cap la cap, în stare solidă, se aplică puțin în practică, și anume pentru îmbinarea unor bare sau tuburi de diametru mic (15—20 mm), precum și a zalelor de lanț.

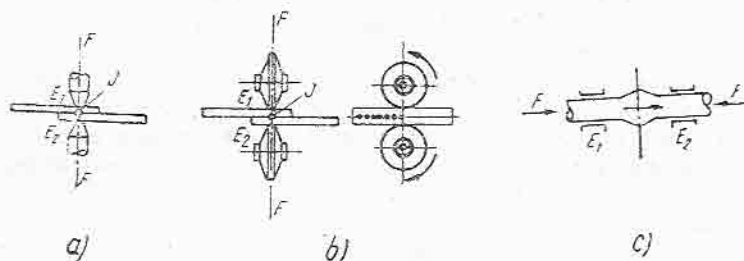


Fig. 24-1. Tipuri de sudură prin rezistență de contact:
a — sudură prin puncte; b — sudură prin cusătură; c — sudură cap la cap.

Sudarea prin topire intermediară diferă de metoda precedentă prin faptul că are trei etape distincte: preîncălzirea, topirea și refularea materialului. În timpul operației de sudare prin topire intermediară, piesele se aduc în contact și se mențin sub curent pînă cînd în locul de contact apare o punte de metal topit; apoi se apasă puternic piesele, producîndu-se refularea metalului topit și sudarea pieselor. La acest procedeu este exclusă posibilitatea vreunei oxidări. După ploaia de scintei, care se formează la sudare, procedeul se mai numește și sudare electrică prin scintei.

Sudarea prin topire intermediară are aplicații numeroase, datorită ușurinței de execuție și a rezistenței mecanice mari care se poate obține la îmbinările sudate folosind acest procedeu. Astfel, se sudează: caroseriile autovehiculelor, șinele de tramvai și de cale ferată, țevile generatoarelor de abur ș.a.

Sudarea prin înmagazinare de energie electrică. Energia electrică necesară sudării este înmagazinată de obicei într-o baterie de condensatoare. Piesele de sudat se aduc în contact printr-o ciocnire violentă și atunci energia înmagazinată în condensator se eliberează sub forma unui curent de descărcare. Căldura care se dezvoltă de către acest curent în locul atingerii pieselor produce sudarea într-un timp foarte scurt, de ordinul de mărime al unor sutimi, sau zecimi de secundă.

Sudarea prin înmagazinare de energie se folosește numai la sîrme și la plăci subțiri.

Metalele și aliajele care se pretează la sudarea electrică prin rezistență de contact sînt: fierul, nichelul, cuprul, aluminul precum și aliajele lor.

Pentru sudarea electrică prin rezistență de contact se folosește exclusiv curentul alternativ. Tensiunea necesară sudării (în secundarul transformatoarelor speciale de sudură) este de 2—10 V, iar puterea nominală, de 25—175 kVA (mai rar, 250 și chiar 350 kVA). La sudarea prin înmagazinare de energie, tensiunea alternativă este redresată cu ajutorul unor redresoare cu vapori de mercur și apoi este aplicată unui condensator. Tensiunea la condensator atinge 3 000—4 000 V, iar capacitatea este de 3 000—4 000 μF . În condensator se poate înmagazina o energie suficientă pentru sudarea unor table de aliaj ușor de 2—2,5 mm grosime.

Sudarea prin puncte. Acest procedeu se aplică în special la îmbinarea prin suprapunere a tablelor metalice și se aseamănă întrucîtva cu nituirea. Tablele care urmează să fie sudate *A* și *B* sînt suprapuse și strînse între electrozii *C* și *D* de cupru dur, racordați la secundarul 2 al unui transformator (fig. 24-2), asupra lor aplicîndu-se o forță de compresiune *F* suficientă pentru a realiza un contact bun al tablelor. Cînd se închide circuitul primar 1 al transformatorului, prin secundarul său trece un curent care produce căldură în rezistența circuitului exterior al secundarului. Temperatura între electrozi și table se ridică relativ puțin, deoarece căldura este evacuată prin metalul bun conducător de căldură al electrozilor și prin apa de răcire care circulă prin aceștia; la locul de contact dintre cele două table, căldura dezvoltată pentru trecerea curentului, rămînînd practic localizată într-un spațiu restrîns, se atinge temperatura de topire. Sudarea se produce sub efectul forței de compresiune aplicată după ce s-a format nucleul topit.

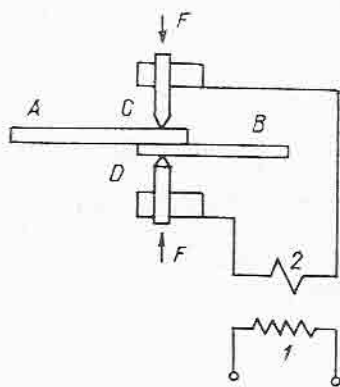


Fig. 24-2. Schema dispozitivului de sudare prin puncte.

Sudura se consideră bună dacă diametrul d_m al cercului în interiorul căruia materialul s-a topit este aproape egal cu diametrul d_e al electrodului, care trebuie să aibă o valoare $d_e = 2\delta + 3$ mm, δ fiind grosimea, în mm, a tablei mai subțiri (fig. 24-3). Sub acțiunea forței de compresiune, electrozii produc în table imprimări de adîncimea $\Delta = (0,1 \dots 0,2)\delta$. La dimensionarea electrozilor trebuie ținut seama de faptul că o parte a curentului trece prin punctele sudate în prealabil, care sînt legate în paralel cu punctul care se află în curs de sudare.

Regalarea procesului de sudare se face, la mașinile cele mai simple, după aprecierea operatorului, iar la producția în serie, în mod automat, deoarece prin aceasta se obțin o producție mărită și o calitate uniformă a sudurii. La sudarea automată, curentul trebuie întrerupt imediat ce sudura a fost terminată, însă mai înainte ca punctul de sudură să se fi lăsat sub influența compresiunii. Drept criteriu pentru întreruperea automată a curentului servește fie timpul (menținîndu-se pentru toate punctele un timp constant), fie

timpul și curentul, atunci când tensiunea rețelei variază în limite largi ($t = \text{const}$, $I = \text{const}$), fie energia consumată, fie temperatura atinsă la locul de sudură, ultimul criteriu fiind cel mai rațional, dar și cel mai dificil de realizat practic.

În figura 24-4 este reprezentat un aparat neautomat de sudare prin puncte. Aparatul are brațul de jos 1 fix, iar cel de sus 2 mobil și apăsător pe piesa de sudat de către tija 3, printr-un arc 3', atunci când se apasă pe pedala

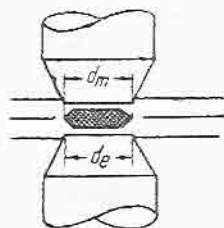


Fig. 24-3. Nucleul topit la sudarea prin puncte.

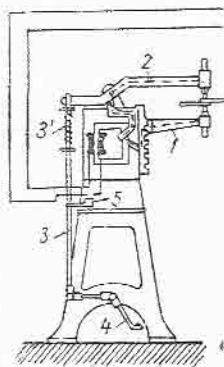


Fig. 24-4. Aparat de sudare prin puncte.

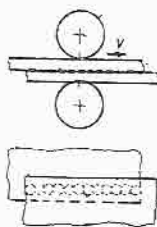


Fig. 24-5. Sudură prin cusătură, obținută prin mai multe puncte de sudură înșiruite.

4. Datorită ridicării tijei 3, arcul 3' se comprimă și se realizează presiunea necesară între cele două piese de sudat după care se închide contactul 5 din primarul transformatorului. După terminarea sudării, se eliberează pedala și prin aceasta se întrerupe întâi curentul și apoi încetează acțiunea forței de compresiune. Dacă nu s-ar proceda astfel, arcul care ar apărea la îndepărtarea electrozilor ar putea distruge piesele sudate. Valoarea curentului și durata sa, precum și forța de apăsare a electrozilor depind de grosimea tablelor de sudat și de materialul de sudat.

Sudarea prin cusătură. Această sudare se realizează pentru îmbinarea, în lungul unor muchii, a pieselor confecționate din tablă și este în realitate o sudare prin puncte, atât de apropiate între ele, încît se suprapun parțial (fig. 24-5).

Aparatul de sudat prin cusătură poate fi același aparat din figura 24-4, însă înzestrat cu un dispozitiv (fig. 24-6) compus din doi electrozi în formă de discuri, așezați în același plan și care strîng puternic tablele între ele.

Electrozii sînt conectați la secundarul transformatorului de sudură. Prin deplasarea tablelor cu o viteză v (m/min), discurile-electrozi se rostogolesc și asigură o sudare prin puncte care se succed la distanța d :

$$d = 8,33 \frac{v}{f} \text{ (mm)},$$

f fiind frecvența curentului alternativ.

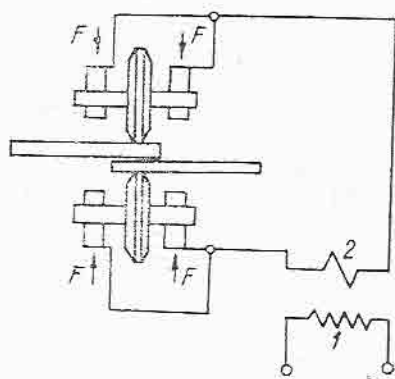


Fig. 24-6. Schema dispozitivului de sudare prin cusătură.

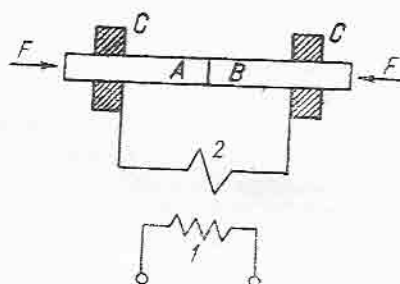


Fig. 24-7. Schema dispozitivului de sudare cap la cap.

La unele aparate de sudare prin cusătură, discurile se învîrtesc intermitent, curentul trecînd numai în timpul cît discurile sînt oprite.

Dimensiunile discurilor-electrozi, forța de apăsare, valoarea curentului, duratele impulsurilor, ale pauzelor și viteza de înaintare sînt parametri care depind de grosimea tablelor de sudat și de felul materialului.

Sudarea cap la cap este folosită pentru sudarea pieselor în formă de bară sau de țevi și a șinelor de cale ferată și de tramvaie.

În figura 24-7 este reprezentat schematic dispozitivul de sudare cap la cap; barele de sudat A și B sînt fixate în clemenele C conectate la înfășurările secundare ale transformatorului de sudură și sînt supuse unor forțe de compresie F . Densitatea curentului care trece prin secțiunea de sudat este de $1\,800\text{--}2\,500\text{ A/cm}^2$.

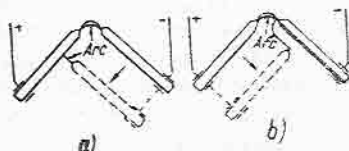
3. SUDAREA PRIN ARC ELECTRIC

Sudarea prin arc electric se realizează datorită temperaturii mari dezvoltate de arcul electric care poate topi extremitățile electrozilor între care se produce, electrozii putînd fi chiar capetele pieselor care trebuie îmbinate

sau un metal de adaos care mijlocește sudarea. Se creează astfel o cantitate de metal topit în zona marginală a pieselor de sudat, ceea ce permite atomilor să intre în sfere de atracție reciprocă și să se încadreze într-o rețea cristalină comună.

La producerea arcului electric pot servi atât curentul continuu cât și cel alternativ. În curent continuu, existența arcului este strâns legată de catod; la o deplasare a electrozilor, piciorul arcului rămâne pe loc (fig. 24-8). În curent alternativ, cei doi electrozi schimbă între ei rolurile de catod și anod la fiecare jumătate de perioadă, astfel deplasarea electrozilor nu mai este însoțită de fenomenul arătat în figura 24-8.

Fig. 24-8. Poziția neschimbată a piciorului arcului electric:
a — formarea arcului la deplasarea catodului; b — formarea arcului la deplasarea anodului.



Caracteristica arcului electric, $U=f(I)$ este reprezentată în figura 24-10. Se observă că pentru apariția arcului este necesară o tensiune de aprindere de circa 60—80 V dar, o dată aprins, arcul funcționează sub o tensiune aproape constantă, de 15—25 V, a cărei valoare depinde doar de lungimea arcului și de natura electrozilor.

Temperatura piciorului arcului este de 2 500—4 000°C la electrozi și de 6 000—7 000°C în curentul coloanei arcului, depinzând de electrozi și de densitatea de curent (circa 7 000 A/mm²).

Principalele procedee de sudare sunt cele reprezentate în figura 24-10.

Sudarea cu electrod de cărbune (Benardos) (fig. 24-10, a) a fost inventată de tehnicianul rus N. Benardos, în 1881. Potrivit acestui procedeu, obiectul de sudat se leagă la polul pozitiv al unei surse de curent continuu, iar electrodul (de cărbune), la polul negativ al sursei (deoarece piciorul arcului este la catod) (fig. 24-8). Prin trecerea curentului între metal și electrodul de cărbune, în locul unde se execută sudarea, apare un arc care topește porțiunile respective ale pieselor care trebuie sudate. Când piesele depășesc o anumită grosime sau când trebuie încărcată cu material, se adaugă pe locul

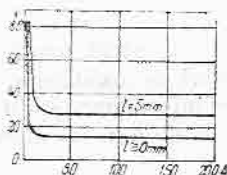


Fig. 24-9. Caracteristica unui arc electric de c.c.

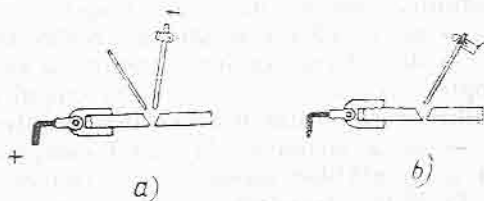


Fig. 24-10. Schemele principalelor procedee de sudare cu arc electric:

a — procedeu Benardos; b — procedeu Slavianov.

sudurii un supliment de metal, topindu-se în arc electric o bară subțire metalică, din același material ca și piesa sudată (fig. 24-10, a). Procedeu de sudare Benardos se aplică numai în curent continuu. Pentru reducerea cantității de carbon care se introduce în metalul topit pe locul sudurii și care alterează calitățile acesteia, electrozii de cărbune au fost înlocuiți prin electrozi de grafit.

Procedeu de sudare cu electrod de metal (Slavianov) a fost elaborat între 1888 și 1890 și descris în anul 1892 la Petersburg de metalurgistul rus B. Slavianov. Acesta a introdus, în locul electrodului de cărbune sau de grafit, un electrod metalic, confecționat din același material ca și piesele de sudat, servind deci atât la întreținerea arcului, cât și la furnizarea suplimentului de material topit necesar la completarea cusăturii sau la încărcarea piesei cu metal (fig. 24-10, b). În acest fel dispăre principalul inconvenient al procedurii Benardos, acela al carburării metalului pe locul sudurii.

În prezent, procedeul Slavianov este cel mai răspândit sistem de sudare prin arc, prezentând avantajul că este simplu și poate fi folosit atât în curent continuu, cât și în curent alternativ.

Sursele de curent pentru sudarea cu arc sînt fie de curent continuu (generatoare de sudură), fie de curent alternativ (transformatoare de sudură), de o construcție specială, care le permite să suporte cu ușurință scurtcircuiturile care intervin frecvent la atingerile electrodului de piesa sudată. Aceste surse trebuie să producă o tensiune de mers în gol de 35—75 V, necesară pentru aprinderea arcului și un curent reglabil de 50—500 A, pentru sudare.

Operația de sudare se face punînd în contact, pentru un timp scurt electrodul cu piesa de sudat, după care electrodul este îndepărtat (apare arc electric) și este menținut la o distanță de 3—10 mm atît timp cît durează sudarea, într-o poziție aflată în planul bisector al planelor de sudat și puțin înclinat în sensul înaintării sudurii.

În timpul sudurii, sudorul trebuie să fie protejat contra scînteilor care sar în jur și contra razelor de tot felul care sînt emise de arc.

Cablul de sudură, monofilar, este de obicei un cablu izolat în cauciuc, flexibil, protejat contra loviturilor, de 5—10 m lungime.

Electrozii folosiți în sudarea electrică cu arc sînt sirme de oțel sau de alt metal, de secțiune rotundă și acoperiți cu un înveliș format din anumite substanțe, care au un triplu scop:

- de a mări stabilitatea arcului electric;
- de a forma în jurul arcului și al metalului topit un strat protector compus din gaze și din zgură, în scopul de a feri metalul de oxidare și de combinare cu azotul din aer înconjurător și de a încetini răcirea sudurii;
- de a introduce în metal componente de aliaj în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice ale sudurii.

Pe lângă procedeele clasice de sudare prin arc electric, expuse mai sus, recent s-au dezvoltat procedee speciale, dintre care, mai importante sînt *sudarea prin arc acoperit* (sau „sub flux”) și *sudarea cu arc în curent protector de gaz*.

Sudarea prin arc acoperit se execută prin topirea materialului de adaos cu un arc electric menținut sub un strat protector din oxizi (de Si, Mn, Ca, Mg, Na, Al, Fe ș.a.) cu o anumită granulație, ceea ce permite o concentrare mare de energie termică, o bună protecție contra oxidării metalului depus, consum redus de material de adaos și posibilitate de automatizare. Sudările prin acest procedeu pot fi realizate pe distanțe lungi și sînt de calitate superioară. Se folosește îndeosebi la sudarea cap la cap a tablelor groase, la cusăturile recipientilor de presiune, a cisternelor de cale ferată și a unor elemente din construcțiile metalice.

Sudarea cu arc în curent protector de gaz constă în menținerea arcului electric într-un curent de gaz inert sau inactiv. Inițial s-au folosit gaze ca argonul și hidrogenul; recent s-a trecut la gaze comune și economice ca bioxidul de carbon (utilizat la sudarea oțelului), azotul (la sudarea cuprului) și chiar vaporii de apă. Acest procedeu de sudare are avantaje în plus față de procedeul sudării sub flux, în ceea ce privește puritatea chimică a sudării, evitarea incluziunilor de zgură în cusătură — deci posibilitatea de folosire la sudarea unor metale sau aliaje ușor oxidabile cu aliajele de aluminiu, de magneziu ș.a.; totodată acest procedeu permite supravegherea arcului și dirijarea lui, are productivitate mai mare și prețul de cost mai redus.

În țara noastră se depune o activitate susținută în vederea introducerii pe scară din ce în ce mai largă a procedeelor moderne de sudare. Un loc de frunte îl ocupă în această activitate Centrul de cercetări tehnice din Timișoara unde s-au obținut realizări importante, ca de exemplu instalația de sudare prin presiune a șinelor de cale ferată, instalații de sudare în curent protector de gaz pentru metale neferoase ș.a.

ACTIONAREA ELECTRICA A UTILAJELOR INDUSTRIALE**1. PRINCIPII GENERALE ALE ACTIONĂRII ELECTRICE**

Procesele tehnologice industriale fac necesară funcționarea a diverse feluri de utilaje, de exemplu mașini-unelte, mașini de ridicat și transportat, pompe, compresoare, ventilatoare, precum și utilajele specifice diferitelor industrii, ca : industria siderurgică, metalurgică, chimică, petrolieră, extractivă, textilă, de construcții, alimentară etc. Pentru ca un utilaj să funcționeze, trebuie să consume o anumită energie mecanică. Această energie îi este dată de unul sau de mai multe motoare, care împreună cu accesoriile și anexe necesare funcționării formează dispozitivul de acționare a utilajului sau pe scurt acționarea utilajului. Dacă motorul este electric, acționarea se numește electrică. Motorul electric constituie partea cea mai importantă a acționării electrice. În afară de motor, acționarea electrică cuprinde aparatul electric necesar, precum și conductoarele de legătură.

Cea mai importantă condiție care se pune acționării electrice este să realizeze o productivitate maximă a muncii cu ajutorul utilajului respectiv. Pentru aceasta, trebuie ca acționarea să fie studiată în special în raport cu reglarea turației motorului și cu regimul său de lucru. Cunoașterea fenomenelor tranzitorii (porniri, opriri, frinări) la care va trebui să facă față motorul are de asemenea un rol important în aprecierea calității unei acționări.

Acționarea electrică s-a făcut la început astfel, încît un singur motor electric să pună în funcțiune toate utilajele situate la diferitele etaje ale clădirii unei fabrici. Această acționare generală necesită o serie întreagă de transmisii mecanice pe etaje și între etaje. Transmisilele micșorau mult randamentul acționării, erau voluminoase, costisitoare și constituiau o sursă de accidente posibile.

S-a trecut apoi la acționarea *pe grup*, cînd, de exemplu, toate utilajele unui etaj erau acționate de un singur motor electric, ceea ce constituie o îmbunătățire față de acționarea generală.

În sfîrșit s-a trecut la acționarea *individuală* a utilajelor cînd fiecare utilaj își are propriul său motor electric de acționare. Față de sistemele care comportă și transmisii mecanice, acționarea electrică individuală prezintă avantajul că echipamentul său se poate monta complet în gabaritul propriu-zis al utilajului, conducînd în acest fel la forme compacte și simple. Acționarea electrică individuală elimină mersul în gol al diferitelor transmisii mecanice, evitînd astfel pierderile de energie respective.

Față de acționarea electrică individuală, s-a realizat încă un progres prin acționarea *multiplă*, cînd diferite părți ale aceluiași utilaj sînt acționate de mai multe motoare electrice; de exemplu, o mașină de frezat poate avea un motor electric pentru acționarea mișcării principale și un alt motor electric pentru acționarea avansului.

2. ALEGEREA MOTOARELOR ELECTRICE ÎN RAPORT CU REGIMUL DE LUCRU

a. Regimuri nominale de lucru

Prin regim specific de lucru al unui motor electric, se înțelege regimul de lucru pentru care motorul a fost proiectat și construit. Regimul nominal de lucru se caracterizează prin valorile înscrise pe plăcuța indicatoare a mașinii. Aceste valori se referă la: putere, tensiune, curent principal, factor de putere, turație, frecvență, curent de excitație. Pentru motoarele electrice sînt stabilite trei regimuri nominale de lucru, și anume:

- regim de durată;
- regim de scurtă durată;
- regim intermitent.

Fiecare regim este caracterizat printr-o anumită încălzire a motorului electric. Această încălzire este provocată de pierderile care se produc în motor, prin efectul Joule-Lenz, histerezis, curenți turbionari și frecări.

Regimul de lucru la motorul electric se numește *de durată* dacă perioada *activă* (de funcționare) este atît de îndelungată încît toate organele motorului ating temperaturi practic stabile.

În cazul regimului de lucru de durată, dacă motorul este încărcat cu puterea P un interval de timp t suficient de mare, supratemperatura (temperatura bobinajelor și a oțelului mașinii deasupra mediului ambiant) sau încălzirea θ a unui organ oarecare, tinde să se stabilizeze (rămîne constantă) la o anumită valoare θ , (fig. 25-1, a). Se numește *regim nominal de durată* acel regim în care motorul poate funcționa timp nelimitat, fără

ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admise, apropiindu-se însă cât mai mult de aceste limite.

Regimul de lucru se numește *de scurtă durată*, dacă perioada activă nu este suficient de îndelungată pentru ca diferitele părți ale motorului să atingă temperaturi practic stabile, iar perioada de pauză este suficient de mare, pentru ca motorul să revină la temperatura mediului ambiant. În acest caz supratemperatura θ a unui organ oarecare crește în perioada activă de la zero pînă la o anumită valoare și scade în timpul pauzei pînă

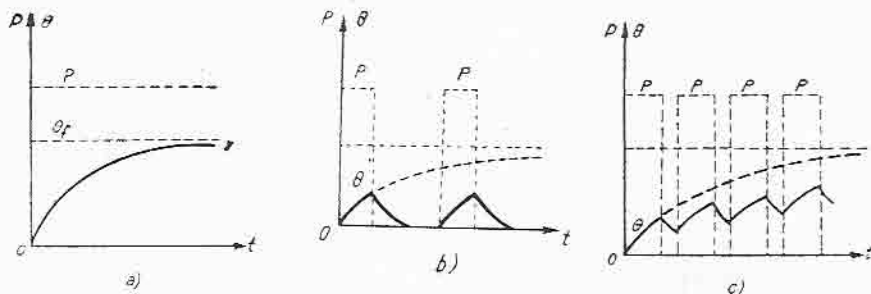


Fig. 25-1. Regimuri de lucru :

a — regim de durată ; b — regim de scurtă durată ; c — regim intermitent.

la zero (fig. 25-1, b). Se numește regim *nominal* de lucru de scurtă durată, acel regim de scurtă durată în care motorul poate lucra în decursul timpului arătat de plăcuța indicatoare fără ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cât mai mult de aceste limite. Sînt stabilite următoarele durate standardizate pentru perioadele active ale regimului de scurtă durată : 15, 30 și 60 minute.

Regimul de lucru se numește *intermitent*, dacă perioadele active, în timpul cărora organele motorului nu ating temperaturi practic stabile, alternează cu perioade scurte de pauză, în timpul cărora motorul nu ajunge la temperatura mediului ambiant (fig. 25-1, c). Regimul intermitent se caracterizează prin raportul dintre durata intervalului activ și durata ciclului de funcționare, care este constituit din durata intervalului activ și durata pauzei. Acest raport se notează cu D_A și se numește *durată activă relativă*, dîndu-se de obicei în procente. Se numește regim *nominal* de lucru intermitent, acel regim intermitent în care motorul poate să lucreze timp nelimitat corespunzător raportului D_A arătat de plăcuța indicatoare, fără ca încălzirea diferitelor lui organe să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cât mai mult de aceste limite. Pentru raportul D_A sînt stabilite următoarele valori standardizate : 15%, 25% și 40%. Durata unui ciclu nu trebuie să depășească 10 minute.

Regimul de durată se întâlnește de obicei la utilajele grele cu funcționare practic continuă. Regimul de scurtă durată se întâlnește, de exemplu, la acționarea plăcilor de turnante de cale ferată, la acționările auxiliare ale

mașinilor-unelte (deplasarea păpușilor, acționarea dispozitivelor de fixare ș.a). Regimul intermitent este caracteristic pentru acționarea principală a celor mai multe mașini-unelte.

Regimurile reale de lucru ale utilajelor pot să nu corespundă riguros unui regim tip, dintre cele menționate. Totuși, un regim real poate fi echivalent din punctul de vedere al încălzirii cu unul dintre cele trei regimuri tip.

La alegerea motorului electric destinat să acționeze un anumit utilaj, trebuie să se țină seama de regimul lui de lucru. De obicei, fabricația curentă a motoarelor electrice corespunde unei standardizări după regimul nominal de durată. Asemenea motoare pot fi alese nu numai în cazul unui regim de lucru de durată, dar și în cazul regimurilor de lucru intermitent și de scurtă durată, după cum se arată mai departe.

Unele fabrici construiesc însă și tipuri speciale de motoare electrice, standardizate pentru un regim nominal intermitent sau de scurtă durată; alegerea unor astfel de motoare în cazul respectiv duce la o utilizare mai economică a lor.

b. Alegerea motorului în cazul regimului de durată

Dacă puterea P cerută de utilaj este constantă, se alege un motor standardizat pentru regimul de durată, cu o putere nominală P_n cel puțin egală cu P și cât mai apropiată de această valoare.

Dacă puterea de durată cerută de utilaj este variabilă, trebuie să se calculeze în prealabil o *putere de durată echivalentă*, din punctul de vedere al încălzirii, cu puterea reală variabilă. Pentru a se determina puterea echivalentă necesară, se alege la început în mod arbitrar din catalog un motor cu o putere nominală de durată P_n . Se calculează apoi expresia:

$$P_e = \frac{p_1 \cdot t_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}, \quad (25.1)$$

unde p_1, p_2, p_3, \dots sînt *pierderile de putere* (datorite randamentului) ale motorului ales, pentru diversele sarcini la care va trebui să facă față în intervalele de timp t_1, t_2, t_3, \dots care constituie ciclul real de lucru. Pierderile p_1, p_2, p_3, \dots la diverse sarcini se cunosc din datele constructive ale motorului. Expresia p_e poartă numele de expresia *pierderilor echivalente*. Se compară p_e cu pierderile de putere p_n ale motorului ales, la sarcina nominală P_n . Expresia p_n trebuie să fie cel puțin egală cu p_e și cât mai apropiată de această valoare. În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se obține un rezultat satisfăcător. Metoda aceasta de calcul se numește *metoda pierderilor echivalente*. Pierderile de putere ale unui motor electric pot fi determinate, dacă se cunoaște curba care arată cum variază randamentul motorului în funcție de puterea dată la arbore. Dacă

de exemplu, pentru puterea la arbore P , randamentul motorului este η , pierderile p ale motorului la această putere rezultă din relația :

$$p = \frac{P}{\eta} - P.$$

Aplicația 25-1. Un utilaj cere în timpul ciclului de lucru care se repetă indefinit, o putere de 5,5 kW timp de 4 s, 5 kW timp de 15 s și 3 kW timp de 5 s. Să se verifice dacă pentru acest utilaj este indicat un motor electric cu următoarele caracteristici :

Puterea nominală de durată $P_n = 4,5$ kW.

Pierderile de putere la sarcina nominală $p_n = 1,05$ kW.

Pierderile de putere la sarcina de 5,5 kW... $p_1 = 1,29$ kW.

Pierderile de putere la sarcina de 5 kW... $p_2 = 1,10$ kW.

Pierderile de putere la sarcina de 3 kW... $p_3 = 0,66$ kW.

Rezolvare. Făcînd calculele se găsește expresia pierderilor echivalente de putere :

$$p_e = \frac{p_1 t_1 + p_2 t_2 + p_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{1,29 \cdot 4 + 1,10 \cdot 15 + 0,66 \cdot 5}{4 + 15 + 5} = 1,04 \text{ kW}.$$

Deoarece expresia $p_n = 1,05$ kW este mai mare decît $p_e = 1,04$ kW și foarte apropiată de p_e , rezultă că motorul electric este bine ales.

c. Alegerea motorului în cazul regimului intermitent

Alegerea motorului se poate face tot cu ajutorul metodei pierderilor echivalente, după cum s-a arătat, mai înainte. Se alege în mod arbitrar un motor din catalogul cu motoare standardizate după regimul nominal de durată. Pentru acest motor se cunosc pierderile la diverse sarcini. Se calculează apoi cu relația (25.1) pierderile echivalente p_e și se verifică dacă pierderile p_n la sarcina nominală ale motorului ales sînt cel puțin egale cu p_e și cît mai apropiate de p_e . În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se capătă un rezultat satisfăcător.

d. Alegerea motorului în cazul regimului de scurtă durată

În practică, se alege un motor normalizat după regimul nominal de durată, ținîndu-se seamă de suprasarcina pe care o poate suporta și care corespunde coeficientului de suprasarcină indicat prin datele constructive ale motorului pentru un interval de timp egal cu durata activă a ciclului de lucru. Dacă puterea care se cere la arborele motorului în perioada activă este P , se alege un motor standardizat după regimul nominal de durată cu o putere nominală cel puțin egală cu :

$$\frac{P}{k}$$

și cît mai aproape de această valoare, unde k este coeficientul de suprasarcină menționat mai înainte.

Deoarece aceste motoare pornesc de obicei cu o sarcină însemnată faţă de sarcina lor nominală, verificarea cuplului de pornire are o deosebită importanţă.

Aplicaţia 25-2. Să se aleagă un motor destinat să funcţioneze în regim de scurtă durată pentru a deplasa cu viteza $v=12$ m/min, căruciorul cu o greutate $G=650$ kgf al unui strung. Coeficientul dinamic de frecare al ghidajelor este $C_d=0,12$, iar randamentul transmisiei $r=0,11$.

Rezolvare. Considerînd pentru motoarele din catalog un coeficient de supra-sarcină $k=1,5$, puterea nominală de durată a motorului trebuie să fie:

$$P_n = \frac{G \cdot v \cdot C_d}{6120 \cdot r \cdot k} = \frac{650 \cdot 12 \cdot 0,12}{6120 \cdot 0,11 \cdot 1,5} = 0,93 \text{ kW.}$$

Se alege un motor standardizat pentru regimul nominal de durată cu o putere $P_n=1$ kW şi o turaţie nominală $n=1450$ rot/min. Se presupune că cuplul de pornire al motorului ales este:

$$M_p = 1,6 M_n$$

în care M_n este cuplul nominal. Rezultă:

$$M_p = 1,6 M_n = 1,6 \frac{975 P_n}{n} = 1,6 \frac{975 \cdot 1}{1450} = 1,08 \text{ kgf} \cdot \text{m.}$$

Acest cuplu trebuie comparat cu cuplul rezistenţei la pornire. Se presupune că la pornire coeficientul de frecare static este $C_s=1,8 C_d$. Cuplul rezistenţei la pornire este:

$$M_r = \frac{975 \cdot G \cdot v \cdot C_s}{6120 \cdot r \cdot k \cdot n} = \frac{975 \cdot 650 \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot 0,12}{6120 \cdot 0,11 \cdot 1,5 \cdot 1450} = 1,12 \text{ kgf} \cdot \text{m.}$$

Deoarece $M_p < M_r$, trebuie să se aleagă un motor mai puternic standardizat după regimul nominal de durată. Se presupune că motorul de putere imediat superioară are puterea nominală $P'_n=1,7$ kW la turaţia $n=1450$ rot/min. În acest caz, cuplul său de pornire este:

$$M'_p = 1,6 \frac{975 \cdot 1,7}{1450} = 1,83 \text{ kgf} \cdot \text{m.}$$

Deoarece $M'_p > M_r$, înseamnă că al doilea motor este bine ales.

3. ECHIPAMENTE ŞI SCHEME ELECTRICE DE ACŢIONARE

a. Întocmirea schemelor electrice

Echipamentul unei acţionări electrice rezultă din schema sa. Cele mai utilizate scheme pentru acţionări electrice sînt schemele numite *desfăşurate*, care reprezintă toate aparatele şi maşinile electrice împreună cu conexiunile dintre ele, astfel încît funcţionarea şi legăturile electrice să fie uşor de înţeles. În acest scop se utilizează o serie de simboluri, dintre care cele mai uzuale sînt date în tabela 25-1.









Tabela 25-1

Simboluri folosite la întocmirea schemelor desfășurate

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
1		Conductor în circuitele principale de forță
2		Conductor în circuitele secundare de comandă și control
3		Bobină de contactor
4		Bobină de releu
5		Bobină de releu cu temporizare (întirziere)
6		Contact normal* deschis al unui aparat cu acțiune instantanee
7		Contact normal închis al unui aparat cu acțiune instantanee
8		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare (întirziere) la deschidere
9		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la închidere
10		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
11		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere
12		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la închidere
13		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
14		Contact normal deschis al unui aparat fără revenire automată

* Poziția normală a unui contact corespunde situației când bobina care-l comandă nu este parcursă de curent.

Tabela 21-1 (continuare)

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
15		Contact normal închis al unui aparat fără revenire automată
16		Element termic (bimetalic) al unui releu
17		Buton de comandă manuală, normal deschis cu revenire automată
18		Buton de comandă manuală, normal închis cu revenire automată
19		Contact normal deschis acționat mecanic (întreruptor de cale sau de sfârșit de cursă)
20		Contact normal închis acționat mecanic
21		Contact normal deschis al unui controler
22		Contact normal închis al unui controler

Diversele aparate și, în special, contactoarele și releele sînt desenate descompuse în elementele lor principale, bobine și contacte. Aceste elemente nu sînt grupate în schemă la un loc (așa cum sînt situate în aparatele respective); fiecare element se găsește în circuitul din care trebuie să facă parte, deși aceste circuite sînt situate în schemă, pentru claritate, la anumite distanțe unele de altele. Spre a se putea ușor identifica elementele aceluiași aparat, se utilizează o notație corespunzătoare. De multe ori se notează bobinele diferitelor contactoare cu 1C, 2C, 3C... iar bobinele diferitelor releu cu 1R, 2R, 3R... Contactele bobinei 2C, de exemplu, se notează 2C1, 2C2... iar contactele bobinei 3R, cu 3R1, 3R2... Uneori pentru bobinele releelor și contactoarelor se utilizează încă o literă, caracterizînd felul de funcționare al releului. Bobina unui releu termic, de exemplu, se poate nota 1RT, a unui releu de viteză 1RV, a unui releu de temporizare 1RC etc.

b. Exemplu referitor la acționarea electrică a unei mașini de honuit*

În figura 25-2 se arată schema electrică desfășurată a acționării electrice pentru o mașină de honuit. Mașina este echipată cu trei motoare electrice, și anume:

* Mașină-uneltă specială de rectificat.

- un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_p de 11 kW, 380 V, 1 450 rot/min, care asigură mișcarea principală de rotație a honului;
- un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_h de 4 kW, 380 V, 950 rot/min, pentru acționarea pompei sistemului hidraulic, care asigură mișcarea de dute-vino în sensul vertical a honului;
- un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_r de 0,1 kW, 380 V, 2 800 rot/min, pentru acționarea pompei de răcire.

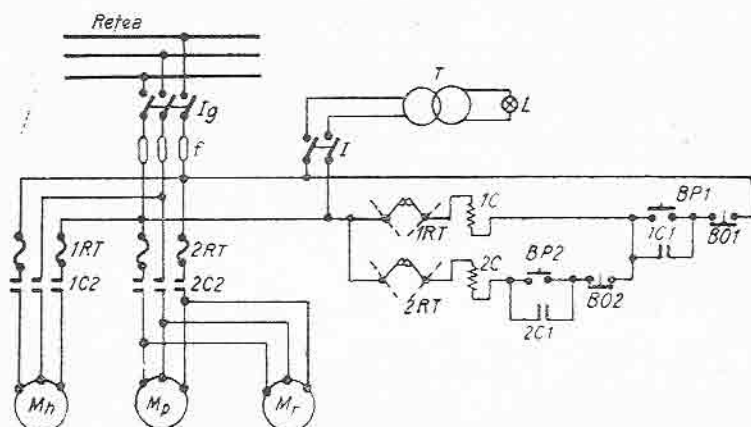


Fig. 25-2. Acționarea electrică a unei mașini de honuit.

Restul echipamentului rezultă din schema electrică. Protecția contra scurtcircuitelor se realizează prin siguranțe fuzibile f , iar contra supra-sarcinilor de durată prin relele termice $1RT$ și $2RT$. Pentru pornire, după ce s-a închis întrerupătorul general I_g , se apasă pe butonul de pornire normal deschis $BP1$ cu revenire automată în poziția deschis când nu mai este apăsat. Curentul electric trece prin bobina contactorului $1C$, ceea ce face să închidă contactele sale normal deschise $1C1$ și $1C2$. Închiderea contactului $1C1$ permite trecerea curentului prin bobina contactorului $1C$ și după ce s-a ridicat mîna de pe butonul $BP1$. Închiderea contactelor $1C2$ pune în funcțiune motorul M_h , care acționează sistemul hidraulic.

Se apasă apoi pe butonul normal deschis $BP2$ cu revenire automată. Curentul electric trece prin bobina contactorului $2C$, care își închide contactele sale normal deschise $2C1$ și $2C2$. Închiderea contactului $2C1$ permite trecerea curentului prin bobina contactorului $2C$ și după ce s-a ridicat mîna de pe $BP2$, iar închiderea contactelor $2C2$ pune în funcțiune motoarele electrice M_p și M_r , care acționează axul principal și pompa de răcire.

Dacă se apasă pe butonul de oprire normal închis $BO1$ cu revenire automată în poziția închis, se întrerupe curentul în bobinele contac-

toarelor, $1C$ și $2C$, iar contactele lor $1C1$, $1C2$, respectiv $2C1$, $2C2$ se deschid, ceea ce oprește toate motoarele.

Cînd toate motoarele sînt în funcțiune și trebuie oprite numai motoarele M_p și M_r , se apasă pe butonul de oprire normal închis $BO2$ cu revenire automată, ceea ce întrerupe curentul bobinei $2C$, astfel încît contactele $2C1$ și $2C2$ se deschide, oprind cele două motoare.

Prin închiderea întrerupătorului I și prin intermediul transformatorului coborîtor T se aprinde lampa L de iluminat local. Elementele termice $1RT$ din circuitul de alimentare a motorului M_h , precum și elementele termice $3RT$ din circuitul de alimentare a celor două motoare M_p și M_r deschid, în caz de suprasarcină prelungită, contactele $1RT$ sau $2RT$ ale releelor respective. În felul acesta, se întrerupe curentul prin bobina $1C$ respectiv $2C$ și se opresc motorul M_h sau motoarele M_p și M_r .

Contactele releelor termice sînt fără revenire automată în poziția închis. După ce s-a deschis unul din aceste contacte din cauza unei suprasarcini, închiderea trebuie realizată manual, ceea ce presupune că între timp s-a cercetat și eliminat cauza care a produs suprasarcina.

CAPITOLUL XXVI

NOȚIUNI DE AUTOMATICĂ

1. STRUCTURA GENERALĂ A SISTEMELOR AUTOMATE

a. Generalități

În procesele de producție, omul a întrebuințat la început forța fizică a mușchilor săi sau a animalelor domestice. Totodată, pe măsura evoluției sale, omul a început să folosească din ce în ce mai mult și posibilitățile sale cerebrale. O dată cu dezvoltarea științei și tehnicii, s-a reușit să se înlocuiască forța musculară cu mașini.

Folosirea mașinilor în producție, adică *mecanizarea producției*, a permis ca omul să îndeplinească numai munci manuale ușoare, de comandă a mașinilor respective. Totodată însă, ritmul din ce în ce mai rapid al producției a obligat omul la o muncă de supraveghere din ce în ce mai încordată, adică la îndeplinirea unei munci cerebrale mai importante. Pentru a satisface ritmul producției, a devenit necesar să se elimine cât mai mult intervenția omului, atât manuală cât și cerebrală, adică să se realizeze instalații tehnice *automate*.

În ultimul timp, instalațiile automate au reușit să îndeplinească procese de producție din ce în ce mai complicate, cu o viteză și precizie în continuă creștere. La aceasta a ajutat, în primul rînd, perfecționarea diferitelor tipuri de mașini electronice. S-a ajuns ca să se înlocuiască prin mașini funcțiuni mintale dificile, ca, de exemplu, rezolvarea de calcule lungi și complicate, traducerea de texte dintr-o limbă într-alta etc. Mai mult încă pe baza nivelului actual al electronicii s-a reușit să se cerceteze o serie de fenomene psihofiziologice și sociale cu ajutorul mașinilor electronice. Cu asemenea probleme se ocupă noua știință numită *cibernetică*. Bineînțeles, nu trebuie să se facă o greșală de a crede că prin cibernetică se poate identifica creierul omenesc cu o mașină electronică — chiar foarte complicată — sau se poate realiza vreo influență asupra fenomenelor sociale.

Cibernetica se ocupă între altele, de instalații automate complexe, care folosesc mașini electronice perfecționate; din această cauză, se spune că asemenea instalații automate fac obiectul *ciberneticii tehnice*.

b. Sisteme tehnice neautomate și automate

Pentru a înțelege mai bine funcționarea principală a unui sistem tehnic automat, se va descrie în prealabil un sistem automat. Se consideră, de exemplu (fig. 26-1), un rezervor de apă R și o conductă de umplere U , pre-

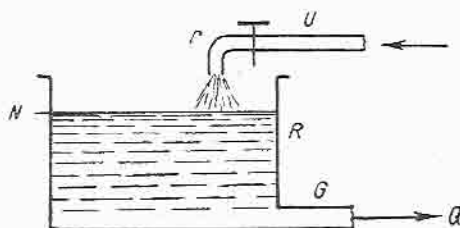


Fig. 26-1. Menținerea neautomată la nivel constant a apei dintr-un rezervor.

văzută cu robinetul r , prin care apa poate curge în rezervor. Indiferent de debitul Q care este evacuat prin conducta de golire G , se cere ca nivelul N al apei din rezervor să se mențină constant. Pentru aceasta, persoana care deservește funcționarea rezervorului procedează în felul următor:

- controlează în mod permanent nivelul apei din rezervor;
- compară nivelul apei cu nivelul prescris;
- dacă constată o scădere a nivelului, deschide mai mult robinetul r ;
- dacă constată o creștere a nivelului, închide într-o anumită măsură robinetul.

Nivelul apei este *mărimea de reglat*, iar rezervorul cu apă este *obiectul reglajului*. Operatorul a *controlat și comparat* înălțimea efectivă a nivelului (adică valoarea efectivă a mărimii de reglat), și, când a constatat o *abatere*, creierul operatorului a *comandat* operația de manevrare a robinetului, operație care a fost *executată manual* în sensul menținerii mărimii de reglat la valoarea dată.

Este evident că instalația descrisă constituie un sistem neautomat, deoarece operațiile necesare s-au realizat manual de către om. Aceleași operații trebuie să se desfășoare și în cazul unui sistem automat, cu deosebirea însă că nu mai intervine omul. Un sistem automat îndeplinind o funcțiune asemănătoare de menținere constantă a nivelului apei este arătat în figura 26-2.

Independent de debitul Q al apei ieșite din rezervor, nivelul apei trebuie să se mențină la valoarea corespunzătoare reperului N care constituie valoarea dată (prescrisă) a mărimii de reglat. Dacă, la un moment dat, debitul Q crește, nivelul scade sub reperul N , iar plutitorul P coboară. Curso-

rul C al reostatului cu bornele a, b rotindu-se în sens antiorar, face ca la bornele motorului electric M (de curent continuu cu excitația separată E) să apară o tensiune, datorită unei surse (nedesenate) de curent continuu, care alimentează reostatul la bornele sale. Motorul punându-se în mișcare într-un anumit sens, ridică vana V , măbind debitul apei, care curge în rezervor, pînă cînd nivelul atinge reperul N . În acest moment, motorul se oprește, deoarece, cursorul C ajungînd în poziția sa mijlocie, tensiunea la bornele motorului se anulează.

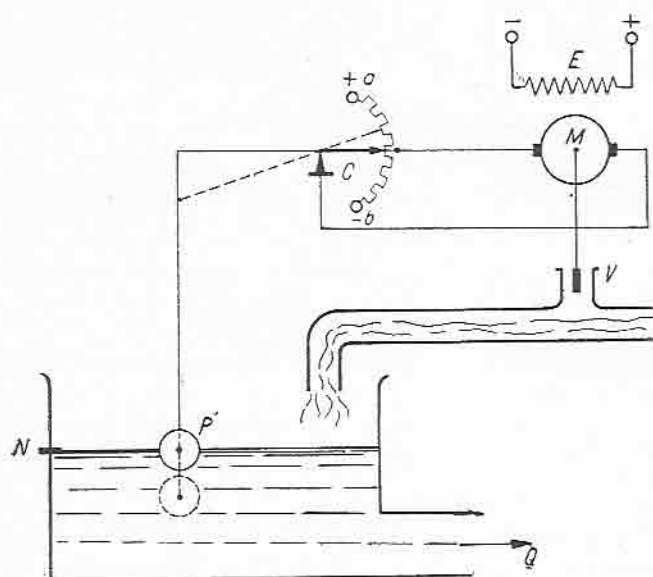


Fig. 26-2. Menținerea automată la nivel constant a apei dintr-un rezervor.

■ Dacă debitul Q ieșit din rezervor scade, nivelul apei crește peste reperul N , cursorul se rotește în sens invers față de cazul anterior, tensiunea la bornele motorului își schimbă de asemenea sensul, iar motorul se rotește în sens contrar față de cazul precedent, coborînd vana V , ceea ce face să scadă nivelul apei, care ajunge din nou la reperul N .

În cazul sistemului automat din figura 26-2, operația de control și comandă o realizează reostatul cu cursorul C . Cînd se produce o abatere a mărimii de reglat față de valoarea dată, organul de comparație și comandă

(cursorul și reostatul) aplică o anumită tensiune (deci comandă o anumită mișcare de rotație) motorului, care este *organul de excitație* (împreună cu vana V) a mișcării necesare pentru debitul din conducta de umplere să varieze în sensul necesar menținerii nivelului apei din rezervor (a mărimii de reglat) la valoarea prescrisă.

c. Sisteme automate în circuit închis
și în circuit deschis

Urmărind operațiile care se produc în sistemul automat din figura 26-2, se constată că ele se succedă într-o anumită ordine, și anume :

Variația mărimii de reglat (nivelul apei) influențează poziția plutitorului ; aceasta influențează poziția cursorului și deci valoarea tensiunii aplicate

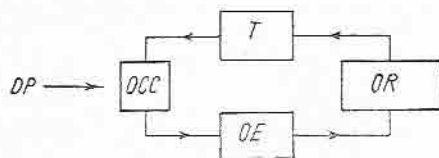


Fig. 26-3. Schema bloc a unui sistem automat în circuit închis (sistem de reglare automată).

cate motorului ; tensiunea la bornele acestuia influențează rotația motorului și mișcarea vanei, iar aceasta, la rândul ei, modifică în sensul necesar mărimea de reglat. Se realizează deci un *ciclu* de operații, care începe cu mărimea de reglat și se termină tot la mărimea de reglat, ceea ce corespunde unui *ciclu sau circuit închis*. Acest ciclu se poate repeta ori de câte ori este necesar să se regleze în mod automat valoarea mărimii de reglat la valoarea dată. Din această cauză, un asemenea sistem automat se numește *în circuit închis* sau *sistem de reglare automată* propriu-zisă.

Schema structurală generală (sau schema bloc) a celui mai simplu *sistem automat în circuit închis* (sistem de reglare automată) poate fi reprezentată ca în figura 26-3. Mărimea de reglat corespunzătoare obiectului reglajului OR influențează în primul rând un element T , care are rolul de a transforma mărimea primită de la obiectul reglajului într-o mărime cât mai corespunzătoare pentru a influența organul de comparație (control) și comandă OCC . Un astfel de element poartă numele de *traductor*. În sistemul automat din figura 26-2, plutitorul P este un asemenea traductor, deoarece transformă (traduce) variația nivelului apei într-o deplasare a cursorului C . Organul de comparație și comandă OCC influențează organul de execuție OE , după care ciclul se poate repeta.

Ciclul închis din figura 26-3 poate fi urmărit și începând, de exemplu, cu organul de comparație și comandă OCC . De multe ori, în sistemele automate, valoarea prescrisă (dată) a mărimii de reglat este transmisă spre OCC de

către un element distinct *DP*, numit *dispozitiv pilot*. Organul de comparație și comandă, după ce constată diferența (abaterea) între valoarea dată de dispozitivul pilot și valoarea efectivă a mărimii de reglat, comandă, pe baza diferenței constatate, operația necesară prin organul de execuție *OE*, care influențează obiectul reglajului *OR* în sensul reducerii abaterii. Obiectul reglajului, după modificarea respectivă a mărimii de reglat, *reacționează* prin traductorul *T* asupra elementului *OCC*, închizându-se astfel ciclul.

În afară de sistemele automate în circuit închis, există și sisteme automate în *circuit deschis*, ca, de exemplu, sistemele automate de *control și măsurare* sau sistemele automate de *comandă*.

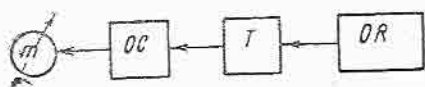


Fig. 26-4. Schema bloc a unui sistem automat în circuit deschis (sistem automat de control și măsurare).



Fig. 26-5. Schema bloc a unui sistem de comandă automată.

Figura 26-4 reprezintă schema bloc a unui *sistem automat de control și măsurare*, care controlează și măsoară o anumită mărime, de exemplu o viteză, o tensiune electrică, o presiune etc. Elementele de bază ale sistemului sînt: obiectul reglajului *OR*, traductorul *T*, organul de control *OC* și organul de măsurare *m*. Un exemplu de sistem automat de măsurare îl constituie măsurarea automată a turației unei mașini. Mașina este obiectul reglajului, iar turația este mărimea de măsurat. Pe arborele mașinii se găsește un *generator tahimetric*, adică o mică mașină de curent continuu, care produce la borne o tensiune proporțională cu turația. La bornele generatorului este legat un voltmetru, avînd însă scara gradată în unități de turație.

Generatorul tachimetric este un traductor, deoarece transformă (trăde) variațiile turației în variații de tensiune. Voltmetrul este organul de măsură. Acest sistem automat este în circuit deschis, deoarece organul care măsoară nu influențează în nici un fel obiectul reglajului. Circuitul se poate însă închide de către om, adică neautomat, de exemplu prin manevrarea excitației motorului electric care acționează mașina *OR*, astfel încît turația ei să aibă o valoare constantă.

În figura 26-5 este reprezentată schema bloc a unui sistem de *comandă automată*. Elementele sale de bază sînt: organul de comandă *OC*, organul de execuție *OE* și obiectul reglajului *OR*. Un exemplu de comandă automată îl constituie acționarea electrică a mașinii de hînit din figura 25-2. Sistemul este și în acest caz în circuit deschis, deoarece mașina (obiectul reglajului), o dată pusă în funcțiune, nu mai influențează asupra organului de comandă.

2. ELEMENTELE SISTEMELOR AUTOMATE

a. Caracteristicile generale ale elementelor

Un element oarecare dintr-un sistem automat este influențat de elementul anterior și, la rândul lui, influențează pe cel următor. Excepție fac numai elementele extreme din cazul circuitului deschis, când elementul respectiv influențează numai pe cel următor sau este influențat numai de elementul anterior.

În general însă, un element oarecare *primește* o anumită mărime (numită mărime de intrare) și *transmite* mai departe o altă mărime (numită mărime de ieșire). Între cele două mărimi de *intrare* și de *ieșire* există o relație cunoscută. Un astfel de element poate fi, de exemplu, o tijă metalică supusă unei anumite încălziri și care se dilată. În acest caz, se poate spune că mărimea de intrare este temperatura, iar mărimea de ieșire este alungirea. Asemenea elemente pot fi reprezentate ca în figura 26-6, *a*, unde s-a notat prin x mărimea de intrare și prin y mărimea de ieșire. Energia necesară pentru transformarea mărimii de intrare în mărime de ieșire este dată chiar de mărimea de intrare.

În alte cazuri, este necesară o sursă de energie auxiliară, ca, de exemplu, în cazul unei triode (vezi cap. IX-4). Pentru a se transforma tensiunea de grilă în tensiune anodică, se utilizează energia dată de bateria anodică. Asemenea elemente pot fi reprezentate ca în figura 26-6, *b*, unde s-a notat prin z mărimea corespunzătoare energiei auxiliare.

Elementele unui sistem automat nu sînt totdeauna dispuse ca în figurile 26-3...26-5, adică în serie, și influențarea nu se face totdeauna numai

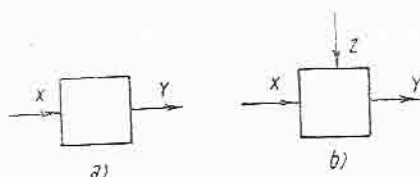


Fig. 26-6. Schema unui element dintr-un sistem automat:

a — fără sursă de energie auxiliară; *b* — cu sursă de energie auxiliară.

de la un element la elementul următor. Există sisteme automate mai complicate, când elementele se pot găsi și în paralel. De asemenea, există elemente la care mărimea de ieșire constituie nu numai mărimea de intrare a elementului următor, dar ea influențează și mărimea de intrare a unui alt element ce se găsește mai în urmă sau chiar mărimea de intrare a elementului care a produs mărimea de ieșire respectivă.

În figura 26-7, *a*, mărimea de ieșire a elementului II influențează nu numai elementul următor III, dar și însăși mărimea de intrare a elementului II. În figura 26-7, *b*, mărimea de ieșire a elementului II influențează și mărimea de intrare a elementului I. Elementele de felul elementului II și circuitele respective poartă numele de *elemente și circuite cu reacție*. Există și *circuite automate cu reacție încrucișate*, ca de exemplu, în figura 26-8.

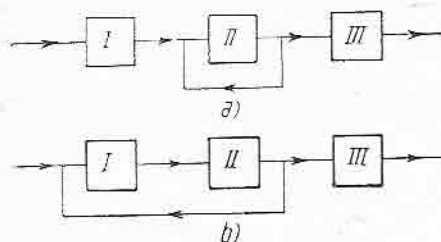


Fig. 26-7. Elemente cu reacție.

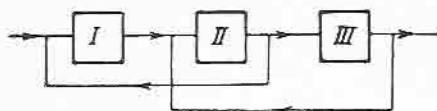


Fig. 26-8. Reacții încrucișate.

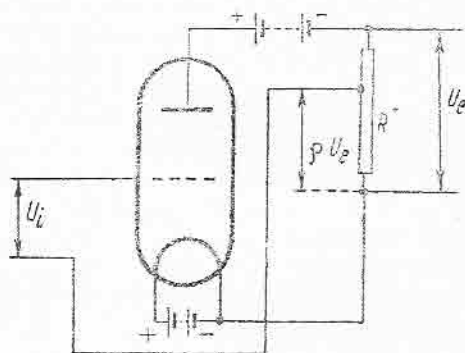


Fig. 26-9. Trioda ca element cu reacție.

Un exemplu de element cu reacție îl constituie trioda din figura 26-9, unde tensiunea de grilă U_i este mărimea de intrare, iar tensiunea anodică U_a , mărimea de ieșire. După cum se vede pe figură, o parte din mărimea de ieșire și anume ρU_a ($\rho < 1$), influențează mărimea de intrare. Reacția poate fi pozitivă — când amplifică mărimea de intrare — sau negativă — când diminuează mărimea de intrare.

b. Clasificarea generală a elementelor

Cea mai importantă clasificare a elementelor din sistemele automate este aceea care ține seama de funcțiunea pe care o îndeplinește elementul respectiv. Din acest punct de vedere, elementele uzuale sînt denumite: *traductoare*, *amplificatoare*, *stabilizatoare*, *relee*, *distribuitoare*, *organe de execuție* (inclusiv motoare).

Traductorul este elementul care „transformă” (traduce) o mărime de o anumită natură într-o mărime de o altă natură.

Amplificatorul este un element la care mărimea de ieșire, de aceeași natură cu mărimea de intrare, este amplificată față de aceasta într-un anumit raport.


Stabilizatorul menține mărimea de ieșire constantă, atunci când mărimea de intrare variază.

Releul se caracterizează prin faptul că mărimea de ieșire variază brusc atunci când mărimea de intrare variază continuu.

Distribuitorul permite ca acțiunea unui element din instalația automată să se distribuie — de obicei pe rînd — la mai multe elemente sau ca un element să fie influențat de mai multe elemente.

Organele de execuție au rolul de a executa anumite operații, de obicei asupra obiectului reglajului, în urma comenzii primite de la un alt element.

c. Traductoare

 *Generalități.* În practică se întîlnesc de obicei traductoare la care cel puțin una dintre cele două mărimi de intrare sau ieșire este electrică. Când mărimea de ieșire electrică constituie parametrul unui circuit electric (rezistență, inductivitate, capacitate), traductorul se numește *parametric*. Când mărimea de ieșire este o forță electromotoare (tensiune electromotoare), traductorul se numește *generator*.

Traductoarele se caracterizează prin *sensibilitatea* lor. Cu cît la o variație oarecare Δx a mărimii de intrare variația corespunzătoare Δy a mărimii de la ieșire este mai mare, cu atît elementul este mai sensibil.

Se numește *sensibilitate absolută* raportul :

$$S_a = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

De asemenea traductoarele se pot caracteriza și prin *sensibilitatea lor relativă*, a cărei expresie este :

$$S_r = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x}.$$

În practică există nenumărate feluri de traductoare parametrice și generatoare, dintre care se arată cîteva mai departe.

d. Traductoare parametrice

Traductoare rezistive. Dacă mărimea de intrare este neclectrică, iar mărimea de ieșire corespunde variației unei rezistențe, traductorul se numește *rezistiv*.

Traductorul rezistiv *cu cărbune* (fig. 26-10) are ca mărime de intrare valoarea unei presiuni P , iar ca mărime de ieșire valoarea rezistenței R a unei coloane C , constituită din rondele de cărbune.

Funcționarea traductorului se bazează pe faptul că rezistența coloanei de rondele scade pe măsură ce crește presiunea, în conformitate cu o relație care poate fi arătată grafic prin curba respectivă de variație (fig. 26-11).

Un alt traductor rezistiv este traductorul cu fir metalic sau *lensometrul cu fir* (fig. 26-12), folosit pentru determinarea deformațiilor unor piese. Firul F (din manganină, nicrom, constantan etc.) cu un diametru de ordinul 0,05 mm,

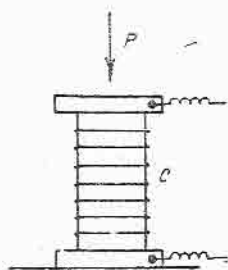


Fig. 26-10. Traductor cu rondele de cărbune.

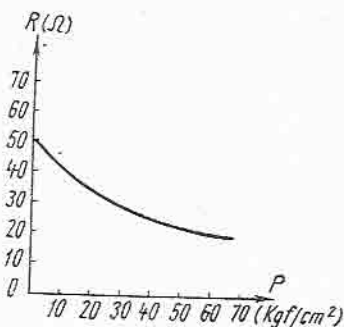


Fig. 26-11. Variația rezistenței R a coloanei de cărbune în funcție de presiunea P .

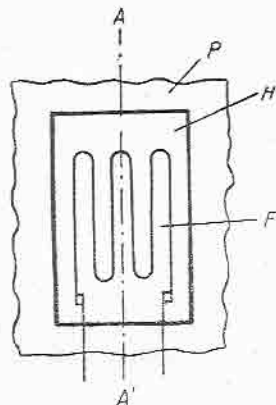


Fig. 26-12. Traductor cu fir metalic.

avînd forma arătată pe figură, se așază între două foițe de hîrtie H (cu dimensiuni de cîțiva centimetri), lipindu-se apoi printr-un clei special de piesa P , ale cărei deformații și eforturi trebuie urmărite. Dacă piesa este supusă, de exemplu la întindere sau comprimare în sensul axei $A-A'$, ea se alungește sau se contractă după această direcție, provocînd alungiri sau contracțiuni corespunzătoare și asupra firului F , ceea ce are ca urmare o variație a rezistenței sale electrice. La o anumită variație a deformației sau efortului (mărimea de intrare în traductor) corespunde o anumită variație a rezistenței firului (mărimea de ieșire din traductor).

În principiu, orice reostat a cărui rezistență electrică variază în raport cu deplasarea cursorului este un traductor rezistiv, la care deplasarea cursorului constituie mărimea de intrare, iar variația rezistenței, mărimea de ieșire.

Traductoare inductive. La asemenea traductoare, mărimea de ieșire este dată de variația unei reactanțe inductive. În fața bobinelor identice B_1 și B_2 (fig. 26-13), cu miez de oțel, se poate deplasa spre dreapta sau spre stînga armătura A , solidară cu tija T . Cele două bobine sînt alimentate prin intermediul transformatorului T_r , de la o rețea de curent alternativ cu tensiunea efecă U . Dacă armătura A se găsește în poziția sa mijlocie, reactanțele inductive ale celor două bobine sînt egale, iar aparatul G se găsește în poziția zero, nefiind parcurs de curent. Dacă tija T este deplasată

într-un sens sau celălalt, reactanțele inductive ale bobinelor nu mai sînt egale (întrefierul corespunzător unei bobine crește, iar al celeilalte scade), ceea ce provoacă trecerea unui curent prin aparatul G , al cărui ac se deplasează într-un anumit sens. Se constată deci că, sub influența unei deplasări D , se produce o variație a inductivității bobinelor. Mărimea și sensul deplasării acului corespund mărimii și sensului deplasării D la care a fost supusă tija T . Asemenea traductoare se folosesc de obicei pentru urmărirea unei deplasări mici, de zecimi și sutimi de milimetri.

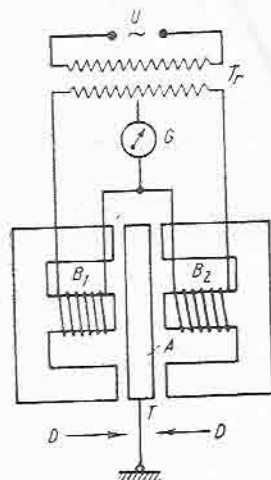


Fig. 26-13. Traductor inductiv cu armătură mobilă.

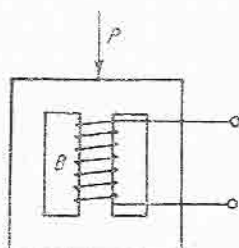


Fig. 26-14. Traductor inductiv bazat pe magnetoelasticitate.

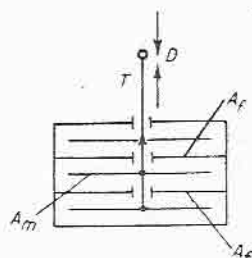


Fig. 26-15. Traductor capacitiv diferențial.

Traductoarele a căror funcționare se bazează pe crearea unei diferențe între două mărimi (ca, de exemplu, între două inductivități) se numesc *diferențiale* și au avantajul de a elimina o serie de erori.

Există și traductoare inductive cu *miez mobil*, la care variația inductivității se obține prin deplasarea miezului de oțel al bobinei respective.

Figura 26-14 arată un traductor inductiv bazat pe fenomenul de *magnetoelasticitate*. Miezul bobinei este realizat din *permalloy* (aliaj de fier și nichel), care are proprietatea de a-și schimba permeabilitatea magnetică sub acțiunea unei presiuni P . Variația permeabilității magnetice are ca rezultat o variație corespunzătoare a inductivității bobinei B .

Traductoarele magnetoclastice fabricate în țara noastră sînt larg utilizate în exploatarea petroliere pentru determinarea eforturilor în prăjinile sondelor.

Traductoare capacitive. După cum se știe, capacitatea unui condensator depinde de suprafața armăturilor, distanța dintre armături și natura dielectricului (v. cap. I-11). Pe această proprietate se bazează și funcționarea diferitelor traductoare capacitive.

Figura 26-15 arată un traductor capacitiv diferențial constituit din trei perechi de condensatoare, fiecare pereche avînd cîte o armătură mobilă A_m între două armături fixe A_f . Deplasarea într-un anumit sens a tijei T , solidară cu armăturile mobile, are ca efect pentru fiecare pereche de condensatoare mărirea capacității unuia dintre condensatoare și micșorarea capacității celuilalt. Cele trei perechi de condensatoare fiind legate în paralel, înseamnă că la o anumită variație a deplasării D (ca mărime și sens) corespunde o anumită variație a unei diferențe de capacități (ca mărime și ca sens). Astfel de traductoare se pot utiliza pentru urmărirea vibrațiilor unei piese.

Traductorul capacitiv cu variația suprafeței armăturilor poate fi realizat, în principiu, ca în figura 1-23. În acest caz, capacitatea depinde de variația unghiului de rotație al axei de care sînt solidare armăturile mobile. Aceste traductoare se întrebuintează mai ales pentru transmiterea indicațiilor date de diverse aparate de măsură.

Există metale (platină, nichel, fier, cupru) care își schimbă mult rezistența electrică în funcție de temperatură, constituind așa-numitele *termorezistențe metalice*; de asemenea, există și o serie de semiconductoare sensibile la temperatură, numite *termistoare* (carburi, sulfuri sau oxizi de diferite metale: cupru, cobalt, nichel, magneziu, uraniu etc.).

Dintre termorezistențele metalice, cele de platină se utilizează mult la traductoare, deoarece au o mare sensibilitate. Spre deosebire de termorezistențele metalice, la care rezistența crește cu temperatura, termistoarele au o rezistență care scade cu temperatura. Sensibilitatea termistoarelor este mult mai mare (de circa 10 ori) decît a termorezistențelor metalice. Traductoarele cu termorezistențe servesc pentru măsurarea temperaturii (*termometre*), a vacuumului (*vacuumetre*), a vitezei gazelor (*anemometre*) ș.a.

Se construiesc, de asemenea, traductoare electrolitice, magnetorezistive și altele.

Traductoare generatoare

Traductoare inductive. Un traductor inductiv generator este *traductorul tahimetric* sau *tahogeneratorul*. Acesta este de fapt un mic generator de curent continuu sau alternativ. Tahogeneratoarele servesc de obicei pentru a da la borne o tensiune proporțională cu turația, astfel încît mărimea de intrare este o viteză de rotație, iar mărimea de ieșire, o tensiune electrică.

Se știe că forța electromotoare E a generatorului de curent continuu este proporțională cu turația n și cu fluxul magnetic inductor Φ (vezi cap. XVI-1), adică :

$$E = K \cdot n \cdot \Phi,$$

Pentru ca relația de proporționalitate între n și E să fie cît mai corectă, este necesar ca fluxul magnetic inductor Φ să rămînă constant. Aceasta se

obține de obicei la tahogeneratoarele de curent continuu, utilizând un magnet permanent pentru producerea cîmpului magnetic inductor și deci a fluxului Φ .

Tahogeneratorul de curent alternativ se realizează de obicei sub forma unui generator asincron bifazat de o construcție specială. O fază statorică este alimentată de la rețea, cu tensiune și frecvență constante. La bornele celeilalte faze statorice se obține o tensiune alternativă, avînd valoarea eficace proporțională cu turația n cu care este rotită mașina, iar frecvența egală cu frecvența rețelei de alimentare.

Tahogeneratoarele sînt traductoare generatoare de inducție, dat fiindcă mărimea lor de ieșire este o forță electromotoare de inducție.

Un alt traductor inductiv generator este arătat în figura 26-16. Dacă bobina B se deplasează în cîmpul produs de magnetul M , în bobină ia naștere o forță electromotoare de inducție, deoarece variază fluxul magnetic în bobină (vezi cap. V-1,2). La un asemenea traductor, mărimea de intrare este o deplasare, iar mărimea de ieșire, o forță electromotoare. Există și traductoare la care bobina este fixă, iar miezul magnetic se deplasează.

Traductoare piezoelectrice. Cristalele unor materiale și în special acelea de cuarț au proprietatea de a produce sarcini electrice atunci cînd sînt supuse la comprimări sau întinderi. Fenomenul poartă numele de *efect piezoelectric*. Principiul de funcționare a traductorului piezoelectric rezultă din figura 26-17. Între plăcile metalice $a-b$ și $b-c$ se găsesc mai multe lamele, tăiate în mod corespunzător din cristale de cuarț. Cînd se aplică presiunea P , apar sarcini electrice negative în vecinătatea electrodului mijlociu b și sarcini pozitive în vecinătatea electrozilor a și c . Diferența de potențial între electrozi servește la măsurarea presiunii P . Sensibilitatea este de circa $2,1 \cdot 10^{-11}$ C/kgf.

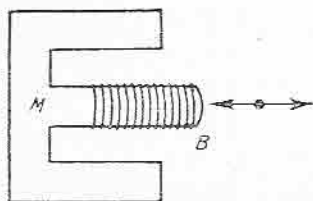


Fig. 26-16. Traductor (generator) de inducție.

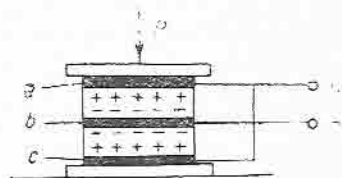


Fig. 26-17. Traductor piezoelectric.

Afară de cuarț se poate utiliza *turmalina*, sarea *Seignette* ș.a. Tensiunea de ieșire din traductor este foarte mică, de ordinul a 10^{-4} V, și se măsoară cu ajutorul unor tuburi electronice speciale. Asemenea traductoare se întrebuințează mai ales la măsurarea presiunilor care variază rapid, de exemplu, în cilindrul motoarelor cu ardere internă.

Traductoare termoelectrice (termocupluri). Dacă două conductoare de natură diferită se sudează la capete în A (fig. 26-18) iar sudura se menține la o anumită temperatură, atunci între celelalte două capete B , menținute la altă temperatură, apare o diferență de potențial care poate fi măsurată

printr-un milivoltmetru mV . Acest fenomen se datorește faptului că în circuit ia naștere o tensiune electromotoare numită *tensiune termoelectromotoare* de ordinul zecilor de milivolți, în funcție de diferența de temperatură dintre capetele A și B .

Traductoarele termoelectrice au diverse întrebuințări, ca, de exemplu, la măsurarea temperaturilor din cuptoare, la măsurarea energiei termice radiate în vacuum ș.a.

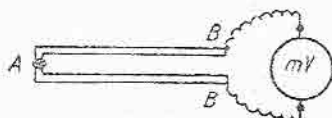


Fig. 26-18. Termocuplu.

Traductoare fotoelectrice. Asemenea traductoare generatoare utilizează celule fotoelectrice (vezi. cap. IX-6), care sub acțiunea radiațiilor luminoase produc un curent electric, fără a avea nevoie de o sursă exterioară.

După cum s-a văzut la capitolul IX-6, există și celule fotoelectrice cu sursă exterioară de energie. Acestea pot constitui traductoare fotoelectrice parametrice.

De obicei, curentul electric datorit unei celule fotoelectrice este prea mic pentru a putea acționa un organ de execuție oarecare. Pentru amplificarea curentului se folosesc de cele mai multe ori tuburile electronice sau ionice.

Traductoarele fotoelectrice au diverse întrebuințări. O primă întrebuințare o constituie măsurarea fluxului luminos Φ al unei surse S , care cade direct asupra celulei fotoelectrice CF (fig. 26-19, *a*). O altă utilizare este analizarea diferitelor obiecte (fig. 26-19) plasate între celula fotoelectrică CF și lampa L . Obiectul este analizat în raport cu fluxul luminos Φ produs de lampa L și care traversează obiectul O .

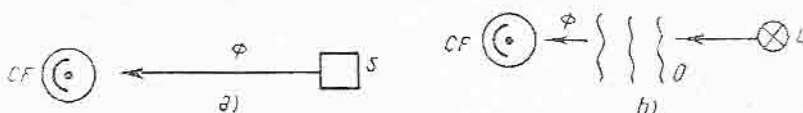


Fig. 26-19. Traductoare fotoelectrice:

a — pentru măsurarea directă a fluxului luminos; *b* — pentru măsurarea opacității unui obiect O .

Utilizarea cea mai frecventă a traductoarelor fotoelectrice o constituie dispozitivele de alarmă și cele de numărare obiecte.

Funcționarea acestor dispozitive se bazează pe schema din figura 26-19, *b* și constă din declanșarea unui semnal ori de câte ori un obiect opac O se interpune între sursa de lumină L și celula fotoelectrică CF .

d: Amplificatoare

Generalități. Dacă un element oarecare dintr-o instalație automată nu dispune de suficientă energie pentru a influența elementul următor, se intercalează între cele două elemente un amplificator, la care mărimea de ieșire este amplificată într-o anumită proporție față de mărimea de intrare. Pentru a se obține această amplificare, este neapărat necesară o sursă auxiliară corespunzătoare de energie. În general, se poate spune că amplificatorul

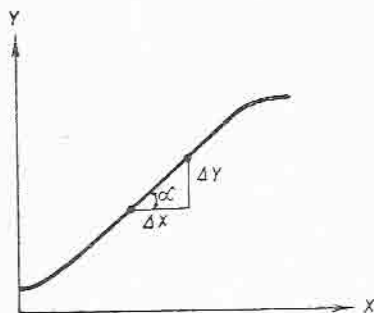


Fig. 26-20. Caracteristica unui amplificator.



Fig. 26-21. Simbolul amplificatorului.

este un element care permite să se comande (sau să se controleze) o anumită putere (mărimea de ieșire sau comandată) cu ajutorul unei puteri mult mai mici (mărimea de intrare sau de comandă).

Felul cum variază mărimea de ieșire y în funcție de mărimea de intrare x poate fi arătat grafic printr-o curbă (fig. 26-20). Se caută totdeauna ca din aceasta curbă să se utilizeze cât mai mult porțiunea dreaptă, pentru care există o proporționalitate riguroasă între variația mărimii de ieșire Δy și variația corespunzătoare mărimii de intrare Δx , adică :

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \operatorname{tg} \alpha = K,$$

unde constanta K poartă numele de *factor de amplificare* (dinamic). Raportul dintre mărimea de ieșire y și mărimea corespunzătoare de intrare x se numește *factor de amplificare static*. Dacă curba din figura 26-20 este o dreaptă care trece prin origine, factorul de amplificare dinamic este egal cu cel static.

În mod simbolic, amplificatorul se reprezintă ca în figura 26-21. În figura 26-20 s-a presupus că variațiile mărimii de ieșire urmăresc instantaneu variațiile corespunzătoare ale mărimii de intrare.

În realitate, amplificatorul, ca, de altfel, marea majoritate a elementelor din sistemele automate, are o anumită inerție. Astfel, dacă la un moment

dat mărimea de intrare x a variat brusc cu Δx (fig. 26-22, *a*) mărimea de ieșire y va avea o variație *întirziată* după o curbă exponențială, pînă cînd ajunge la o valoare stabilizată, care diferă cu Δy de valoarea inițială (fig. 26-22, *b*).

În practică, amplificatoarele folosesc de multe ori fenomenul de reacție, după cum se arată schematic în figura 26-23, unde s-a presupus că x

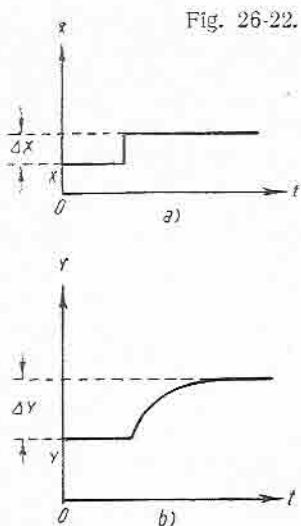


Fig. 26-22. Variația în timp a mărimilor:
a—intrare; b—ieșire.

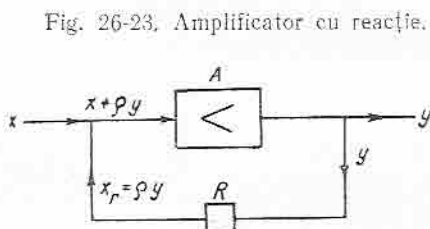


Fig. 26-23. Amplificator cu reacție.

este mărimea de intrare, iar y mărimea de ieșire. Mărimea de ieșire trece nu numai la elementul următor din sistemul automat, dar și la elementul de reacție R , astfel încît din acesta iese mărimea:

$$x_r = \rho \cdot y,$$

proporțională cu mărimea de ieșire y , și care se adaugă mărimei de intrare x în amplificator. Factorul de proporționalitate ρ poartă numele de *factor de reacție*.

Dacă ρ este pozitiv, atunci și mărimea x_r este pozitivă, iar reacția se numește pozitivă. Dacă ρ este negativ, reacția se numește negativă.

Reacția negativă micșorează factorul de amplificare, dar reduce totodată și eroarea relativă (raportul dintre eroarea absolută și valoarea factorului de amplificare), în aceeași proporție; reacția pozitivă mărește factorul de amplificare, dar face ca și eroarea relativă să crească de asemenea în aceeași proporție.

În sistemele automate nu se poate mări peste o anumită limită factorul de amplificare prin reacție pozitivă, deoarece se mărește și eroarea relativă, care poate să atingă valori inadmisibile.

Amplificatoare electronice și ionice. Trioda constituie un amplificator electronic tipic. Funcționarea triodei ca amplificator a fost explicată la capitolul IX-4. În mod analog, tiratronul (cap. IX-5) poate funcționa ca amplificator ionic. Puterile amplificate de triode corespund în general la curenți care nu depășesc ordinul zecilor de miliamperi, pe cînd la tiratroane curenții pot ajunge la valori de ordinul zecilor de amperi, corespunzînd la puteri de ordinul zecilor de kilowați.

În locul triodelor amplificatoare se utilizează actualmente din ce în ce mai mult amplificatoare cu tranzistoare din germaniu sau siliciu (vezi cap. IX-8).

Amplificatoare magnetice. Se consideră un miez de oțel magnetic cu două bobine B_c și B_a (fig. 26-24). Bobina B_a se alimentează cu o tensiune alternativă de valoare eficace U_a , ceea ce face ca în circuitul respectiv să treacă un curent alternativ de valoare eficace I_a . După cum se știe, intensitatea eficace I_a a curentului alternativ depinde și de reactanța bobinei de curent alternativ B_a (vezi cap. VII-6), iar reactanța acestei bobine crește și scade o dată cu permeabilitatea magnetică μ a oțelului din interiorul bobinei (cap. V-4).

Dacă se aplică bobinei B_c o tensiune continuă U_c , prin ea va trece un curent continuu I_c producînd în oțel o magnetizare suplimentară. Aceasta va duce miezul de oțel în apropierea saturației magnetice (vezi cap. IV-7), cînd permeabilitatea magnetică scade o dată cu creșterea inducției magnetice (adică a magnetizării) în oțel. Pe măsură ce se va mări curentul continuu I_c , magnetizarea suplimentară va crește, permeabilitatea magnetică a oțelului va scădea, reactanța bobinei B_a va scădea, de asemenea, și în consecință, curentul alternativ I_a va crește. Astfel, mărind sau micșorînd curentul continuu I_c , se mărește sau se micșorează curentul alternativ I_a .

Pe fenomenele descrise mai înainte se bazează funcționarea amplificatoarelor magnetice (fig. 26-25). La un asemenea amplificator se utilizează două miezuri magnetice din oțel, M_1 și M_2 , separate prin stratul nemagnetic. Bobina de curent alternativ este împărțită în două jumătăți, B_{a1} și B_{a2} ,

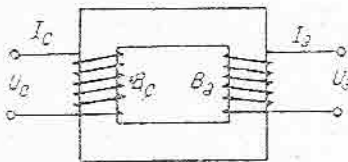


Fig. 26-24. Miez de oțel cu magnetizare suplimentară.

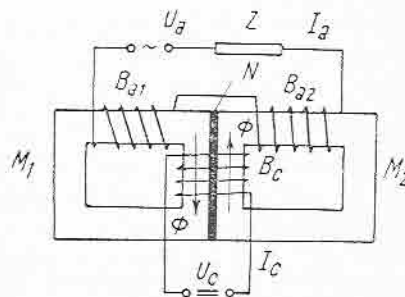


Fig. 26-25. Schema principală a unui amplificator magnetic.

fiecare jumătate pe câte un miez magnetic. Bobina de curent continuu B_c este înfășurată în jurul celor două ramuri apropiate ale miezurilor de oțel.

Sursa de curent alternativ, care produce tensiunea de valoare eficace U_a , are o putere mult mai mare decât sursa de curent continuu. După cum se arată pe figură, cele două jumătăți de bobină B_{a1} și B_{a2} sînt astfel înfășurate încît să producă în interiorul bobinei de curent continuu fluxuri magnetice Φ egale și de sens contrar, pentru a nu perturba prin inducție circuitul de mică putere de curent continuu. Prin variația curentului I_c (dat de o

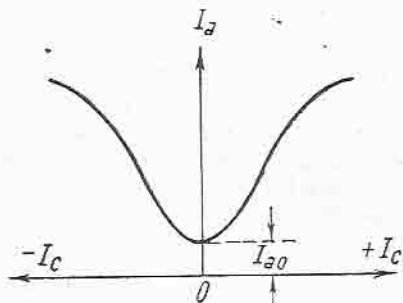


Fig. 26-26. Caracteristica amplificatorului magnetic din figura precedentă.

sursă de putere mică) se face să varieze curentul I_a (dat de o sursă de putere mare), care trece prin impedanța de sarcină Z . Variația curentului comandat I_a în funcție de curentul de comandă I_c este arătată în figura 26-26, pentru ambele sensuri ale curentului continuu.

Există diferite tipuri constructive de amplificatoare magnetice și diverse scheme de montaj, care permit anumite forme ale curbei, arătînd dependența curentului alternativ I_a (mărimea de ieșire) de curentul continuu I_c (mărimea de intrare).

Amplificatoare rotative. Un asemenea amplificator este *amplidina* (fig. 26-27), numită și *mașină cu cîmp transversal*. Amplidina este acționată de un motor oarecare și în linii mari se aseamănă unui generator de curent continuu cu excitație separată. Polii mașinii au tălpile mai late decât la un generator obișnuit de curent continuu. În jurul polilor se găsește înfășurarea C de excitație, alimentată de la o sursă de curent continuu cu tensiunea U_c care produce curentul I_c . Cînd indusul mașinii este rotit de către motorul de antrenare, fluxul magnetic inductor — (datorită curentului I_c) după *axa longitudinală* $L-L$ a mașinii — numită *flux longitudinal* — produce o forță electromotoare în circuitul periiilor așezate după *axa transversală* $T-T$. Aceste perii fiind legate în scurtcircuit, forța electromotoare respectivă dă naștere unui curent de intensitate mare care la rîndul său, produce un flux magnetic puternic pe direcția axei transversale $T-T$, numit *flux transversal*. Prin rotirea indusului, fluxul transversal dă naștere la o forță electromotoare puternică în circuitul periiilor așezate după direcția axei longitudinale $L-L$. Acesta este circuitul de sarcină, parcurs de un curent I , corespunzător unei puteri mari, cerută de receptorul R , cu tensiunea la borne U .

În concluzie cu ajutorul unei surse de putere mică și al curentului respectiv I_c , se poate comanda curentul I dintr-un circuit de putere mult mai mare.

Curentul I de sarcină dă și el naștere unui flux magnetic propriu, longitudinal, de sens contrar fluxului magnetic inițial longitudinal produs de curentul de comandă I_c . Pentru compensarea fluxului propriu se folosesc bobinele de compensare S , în serie cu circuitul de sarcină.

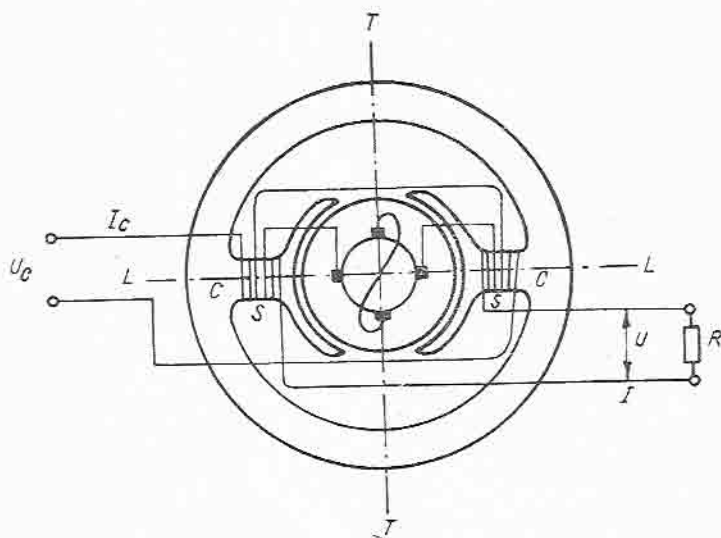


Fig. 26-27. Amplidina.

Amplidinele se pot construi pentru puteri care ating circa 100 kW, iar factorul de amplificare a puterilor este de ordinul $K=10\,000$ și chiar mai mult.

Se construiesc și alte tipuri de amplificatoare rotative, care poartă diferite denumiri, ca, de exemplu, *rolotrolul*, *regulexul*, *magnicomul* ș.a.

c. Stabilizatoare

Generalități. În sistemele automate este uneori necesar ca o mărime să păstreze o valoare cât mai constantă, indiferent de variația altor mărimi, care ar putea s-o perturbeze. Un exemplu îl constituie necesitatea de a menține constantă o tensiune la bornele unui element, indiferent de variațiile de tensiune ale rețelei de alimentare.

Caracteristica de principiu a unui stabilizator este arătată în figura 26-28. Pentru o variație a mărimii de intrare x cuprinsă între limitele x_1 și x_2 , mărimea de ieșire y păstrează valoarea constantă y_0 . În practică, de

cele mai multe ori este destul ca mărimea de ieșire să nu depășească două limite admisibile $y_0 \pm \Delta y_0$ suficient de apropiate de valoarea y_0 . Cu cât la o anumită variație Δx a mărimii de intrare variația corespunzătoare Δy a mărimii de ieșire este mai mică, cu atât *stabilizarea* este mai bună.

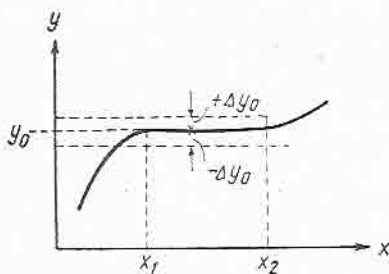


Fig. 26-28. Caracteristica unui stabilizator.

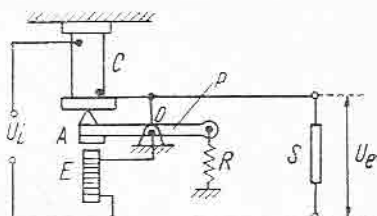


Fig. 26-29. Stabilizator de tensiune cu cărbune.

Raportul dintre Δx și Δy , adică :

$$St_a = \frac{\Delta x}{\Delta y},$$

poartă numele de factor de stabilizare absolut, iar raportul

$$St_r = \frac{\Delta x/x}{\Delta y/y}$$

se numește factor de stabilizare relativ.

Stabilizatoare electromecanice de tensiune, cu coloană de cărbune. Rolul acestor stabilizatoare este ca indiferent de variațiile tensiunii de intrare U_i (fig. 26-29), tensiunea U_e la bornele sarcinii S să fie menținută constantă. Pîrghia P a stabilizatorului, oscilînd în jurul punctului O sub acțiunea resortului R apasă asupra coloanei de cărbune C , a cărei rezistență scade sau crește, pe măsură ce presiunea crește sau scade. Dacă la un moment dat, tensiunea de intrare U_i , are tendința să crească, tensiunea la bornele electromagnetului E crește; forța de atracție a electromagnetului asupra armăturii A mărindu-se, scade presiunea asupra coloanei de cărbune, iar rezistența coloanei crește. Mărirea rezistenței creează o cădere de tensiune mai mare în această rezistență, astfel încît, cu toată tendința de creștere a tensiunii U_i , tensiunea U_e la bornele sarcinii S se menține constantă. Dacă tensiunea U_i are tendința să scadă, căderea de tensiune în rezistența coloanei de cărbune scade, ceea ce are din nou ca efect menținerea constantă a tensiunii U_e .

Stabilizatoare de tensiune cu rezistență neliniară. Majoritatea rezistențelor electrice au o valoare în raport cu tensiunea U aplicată la bornele lor. Pentru asemenea rezistențe este valabilă legea lui Ohm ;

$$U = R \cdot I,$$

care arată că tensiunea U aplicată unei rezistențe R este direct proporțională cu curentul I care trece prin rezistență.

Relația de mai înainte poate fi reprezentată prin dreapta D din figura 26-30. În acest caz, rezistența se numește *liniară*.

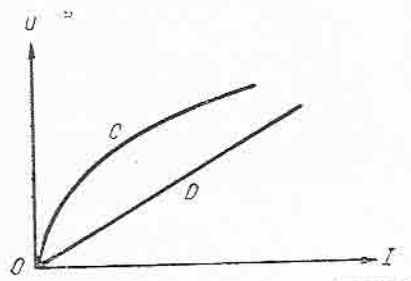


Fig. 26-30. Caracteristici corespunzătoare unei rezistențe liniare (D) și unei rezistențe neliniare (C).

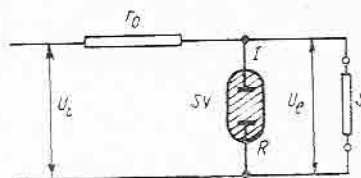


Fig. 26-31. Stabilizator cu stabilivolt.

Dacă însă rezistența R nu este constantă, ci variază în raport cu tensiunea U (de exemplu, scade cînd tensiunea crește), atunci relația de mai înainte va corespunde unei curbe C , iar rezistența se numește *neliniară*.

Unele tuburi cu descărcări în gaze au rezistență neliniară, a cărei valoare scade o dată cu creșterea tensiunii la bornele sale. Ele sînt folosite în unele scheme de stabilizatoare. Schema de principiu a unui asemenea stabilizator este arătată în figura 26-31. Dacă tensiunea de intrare U_i are la un moment dat tendința să crească, curentul I prin tub tinde să crească, iar rezistența R a tubului SV tinde să scadă. În acest fel produsul

$$RI = U_e$$

rămîne aproximativ constant, ceea ce stabilizează în mod corespunzător tensiunea U_e aplicată la bornele sarcinii S . De asemenea, dacă tensiunea U_i tinde să scadă, curentul I scade, rezistența R crește, valoarea produsului RI rămînînd din nou aproximativ constantă.

Tubul stabilizator SV poartă numele de *stabilivolt*. Raportul dintre variația U_e a tensiunii de ieșire și variația U_i a tensiunii de intrare, adică factorul de stabilizare, are de obicei valorile :

$$St = \frac{1}{5} \dots \frac{1}{20}.$$

În figura 26-32 se arată schema de principiu a unui stabilizator de tensiune cu termistor. Schema cuprinde rezistențele liniare r_0 și R_0 , precum și termistorul de rezistență neliniară R . Variația tensiunii U_1 la bornele rezistenței R_0 și a tensiunii U_2 la bornele rezistenței R , în funcție de curentul I , se arată în figura 26-33 prin dreapta D și respectiv curba C . Când tensiunea

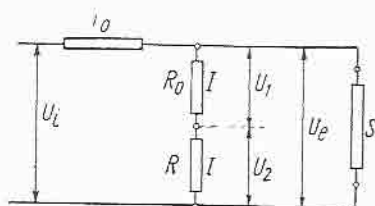


Fig. 26-32. Stabilizator cu termistor.

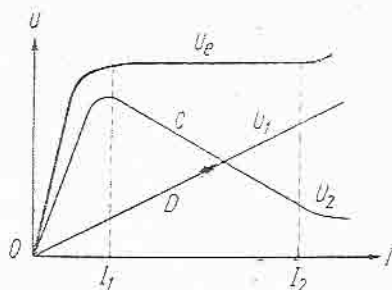


Fig. 26-33. Variația tensiunilor din figura precedentă.

de intrare U_i crește, tensiunea U_1 la bornele rezistenței R_0 crește linear (dreapta D), iar tensiunea U_2 la bornele termistorului crește la început și apoi scade (curba C). Pentru valori ale curentului cuprinse între I_1 și I_2 , tensiunea de ieșire :

$$U_e = U_1 + U_2$$

este stabilizată după cum arată figura 26-33.

Stabilizatoare electronice de tensiune. Tensiunea U_e (fig. 26-34) la bornele sarcinii S din scurtcircuitul catodic al triodei T trebuie să rămână constantă atunci când tensiunea U_i aplicată circuitului anodic variază. În circuitul de grilă se găsește o baterie cu forță electromotoare E . Se presupune, că

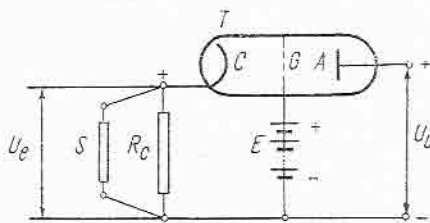


Fig. 26-34. Stabilizator electronic de tensiune.

pentru o anumită valoare a tensiunii U_i , potențialul catodului C este egal cu potențialul grilei G . Aceasta înseamnă că tensiunea dată la bornele bateriei de forță electromotoare E este egală și în opoziție cu tensiunea la bornele rezistenței R_c din circuitul catodic. Dacă tensiunea U_i crește, trecerea de

electroni de la catodul C la anodul A tinde să se accelereze, deci potențialul catodului C împreună cu tensiunea la bornele sarcinii S tinde să crească. Potențialul grilei rămânând mai mic decât potențialul catodului (negativarea grilei), trecerea electronilor de la catod la anod este frinată, ceea ce reduce potențialul catodului și tensiunea, la bornele sarcinii, la valoarea inițială. Dacă tensiunea U_i scade, tendința de scădere a potențialului de catod față de potențialul grilei (pozitivarea grilei) este compensată de accelerare a trecerii electronilor de la catod la anod, astfel că, în acest caz, potențialul catodului, împreună cu tensiunea la bornele sarcinii S rămân constante,

Există stabilizatoare bazate pe anumite proprietăți magnetice ale oțelului (stabilizatoare feromagnetice și cu ferorezonanță), stabilizatoare cu termorezistențe speciale, numite baretoare ș.a.

f. Relee

Generalități. Caracteristica de principiu a funcționării releului rezultă din figura 26-35. Se presupune că mărimea de intrare x crește continuu, iar mărimea de ieșire y variază de asemenea continuu (ramura 1-2) sau rămâne constantă. Când mărimea de intrare a atins valoarea x , mărimea de ieșire sare brusc (în salt) de la o valoare y_a la altă valoare y_b (ramura 2-3). După aceasta, mărimea de intrare crescând în continuare, mărimea de ieșire își păstrează o variație continuă sau rămâne constantă. Dacă mărimea de intrare începe să scadă (ramura 5-6), în mod asemănător, când mărimea de intrare a atins valoarea x_a , mai mică decât x , mărimea de ieșire variază din nou în salt (ramura 6-7), de la y la y_a ; apoi, mărimea de intrare continuând să scadă, mărimea de ieșire variază din nou continuu (ramura 7-8). Releele îndeplinesc în instalațiile de automatizare diverse funcțiuni de comandă, conectare, deconectare, indicarea de valori limită ș.a.

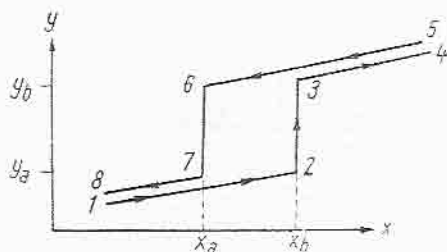


Fig. 26-35. Caracteristica releului.

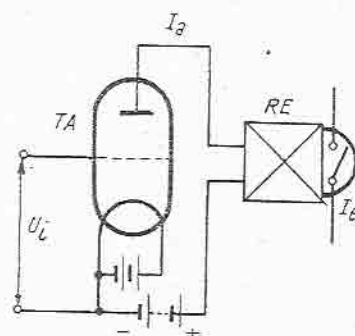


Fig. 26-36. Releu electronic cu contacte.

Multe tipuri de releu sînt descrise la capitolul XII-3, *b*. În continuare se arată și alte tipuri care se pot întîlni în special la instalațiile de automatizare.

Relee electronice. Un astfel de releu (fig. 26-36) este constituit de obicei dintr-un releu electromagnetic *RE* și o triodă amplificatoare *TA*. Cînd tensiunea de grilă U_i (mărimea de intrare) a triodei atinge o anumită valoare, curentul I_a din circuitul anodic, care trece și prin înfășurarea bobinei releului

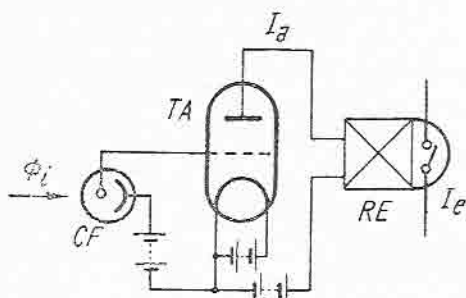


Fig. 26-37. Releu fotoelectric.

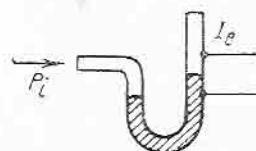


Fig. 26-38. Releu de presiune.

RE, capătă valoarea necesară pentru ca releul *RE* să atragă armătura sa, închizînd un contact care stabilește curentul I_e (mărimea de ieșire). În locul triodei amplificatoare menționate se poate utiliza un amplificator cu tranzistoare.

Există și posibilitatea de a se realiza releu electronice și ionice *fără contacte*, la care stabilirea sau întreruperea unui curent se obține numai prin schimbarea punctului de funcționare pe caracteristica aparatului.

Releu fotoelectronice. Cînd fluxul luminos Φ_i (mărimea de intrare) care atinge celula fotoelectrică *CF* (fig. 26-37) depășește o anumită valoare, curentul anodic I_a al triodei amplificatoare *TA* pune în funcțiune releul electromagnetic *RE*, stabilind curentul I_e (mărimea de ieșire).

Releu mecanice. La aceste releu, mărimea de intrare este o mărime mecanică (presiune, deplasare, viteză etc.). Figura 26-38 arată un *releu de presiune* cu mercur. Cînd presiunea P_i (mărimea de intrare) atinge o anumită valoare

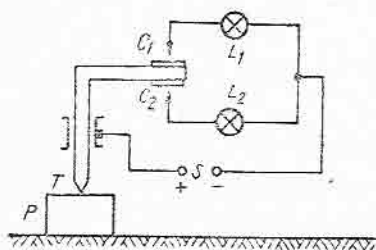


Fig. 26-39. Releu de deplasare.

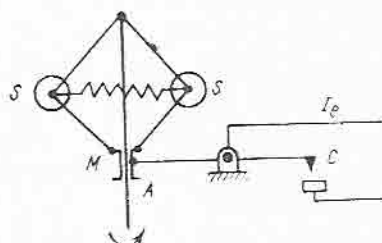


Fig. 26-40. Releu de turație.

mercurul se ridică în ramura din dreapta, închizând un circuit, în care se stabilește curentul I_e (mărimea de ieșire).

Figura 26-39 arată un *releu de deplasare*, care servește la sortarea pieselor. Când piesa P are o înălțime prea mare, prin deplasarea tijei T se închide contactul C_1 și se aprinde lampa L_1 alimentată de sursa S . Dacă piesa are o înălțime prea mică, se aprinde lampa L_2 . Când piesa are o înălțime normală, ambele lămpi sînt stinse.

Figura 26-40 reprezintă un *releu de turație*. Când turația axului A (mărimea de intrare) atinge o anumită valoare, forța centrifugă îndepărtează sferele S , ridicînd manșonul M și închizînd astfel contactul C , ceea ce are ca rezultat stabilirea unui curent I_e (mărimea de ieșire) în circuitul respectiv.

g. Distribuitoare

Distribuitorul electromecanic pas cu pas (fig. 26-41) se compune în principiu dintr-un electromagnet EM care atrage armătura A , legată de un sistem de pîrghii care poate oscila în jurul punctului O . Când armătura A este atrasă,

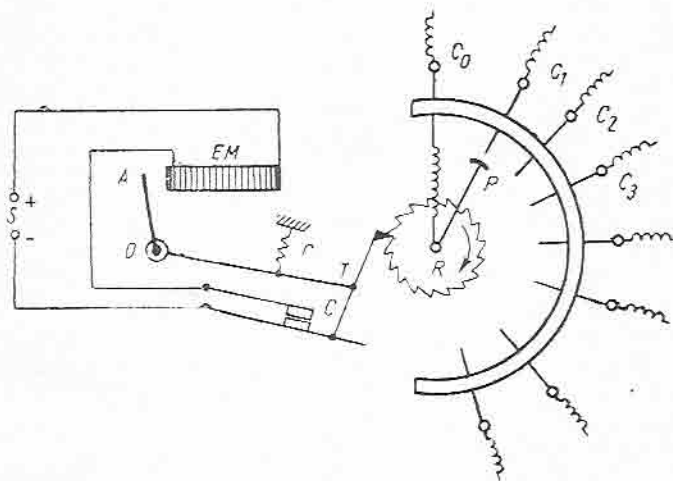


Fig. 20-41. Distribuitor pas cu pas.

tija T coboară, învingînd rezistența reostatului antagonist r . Clichetul tijei coboară ca un dinte al roții. Mișcarea tijei provoacă însă și deschiderea contactului C , astfel încît se întrerupe curentul prin bobina electromagnetului. Armătura A nemaifiind atrasă, resortul r readuce tija T în poziția inițială, iar clichetul ei rotește cu un dinte roata R în sens orar. În același timp, con-

tactul C s-a reînchis, astfel încât armătura A este din nou atrasă ș.a.m.d. În felul arătat, roata R se învîrtește dinte cu dinte, iar pîrghia P realizează pe rînd (pas cu pas) legăturile între circuitul C_0 și circuitele C_1, C_2, C_3 etc.

Distribuitoare electronice. În figura 26-42 se arată principiul constructiv al distribuitorului electronic cu fascicul liniar, care seamănă cu tubul catodic (vezi cap. IX-7). Cele două perechi de plăci P_0 și P_r ale tubului catodic (vezi fig. 9-16) sînt supuse în distribuitor la un sistem de două tensiuni electrice

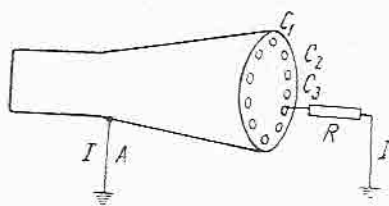


Fig. 26-42. Distribuitor electronic.

bifazate, care dau naștere unui câmp electric învîrtitor. Acest câmp învîrtitor deplasează raza electronică (constituită dintr-un fascicul liniar) astfel încît extremitatea sa din dreapta să atingă succesiv contactele $C_1, C_2, C_3 \dots$ (fig. 26-42). Fiecare contact este legat printr-o rezistență R la pămînt (pe figură s-a făcut desenul numai pentru un singur contact). Anodul tubului electronic care a produs raza electronică este de asemenea legat la pămînt prin conductorul A . În momentul cînd raza electronică a atins un contact C , se stabilește prin rezistența R respectivă un curent I . În consecință, pe măsura deplasării razei electronice, se vor stabili succesiv curenți în circuitele legate la contactele C .

h. Organe de execuție

Ca organe de execuție se utilizează frecvent în automatică motoare electrice de curent continuu și curent alternativ, numite și *servomotoare*. În curent alternativ se întîlnesc de multe ori motoare asincrone bifazate. Statorul unui asemenea motor cuprinde o înfășurare de fază alimentată de la o rețea cu tensiune constantă și o a doua înfășurare de fază, care este alimentată de la *tensiunea de comandă*. Variind valoarea tensiunii de comandă, variază și turația motorului. Cele două tensiuni sînt defazate între ele cu 90° , constituind un sistem aproximativ bifazat, care dă naștere la cîmpul magnetic învîrtitor necesar rotației motorului.

Tot ca organe de execuție în sistemele automate se întrebuintează electro-magneți, reostate, cuplaje electromagnetice, vane electrice sau electropneumatice, dispozitive hidraulice ș.a.

3. SISTEME AUTOMATE

a. Transmiterea automată a unghiurilor

În instalațiile automate este uneori nevoie ca variația unghiulară a unei piese oarecare — de exemplu a unui ax — să fie transmisă la o anumită distanță, adică să fie reprodusă la un alt element al sistemului. În acest scop se poate utiliza, de exemplu, *sistemul selsin* de transmitere.

Acest sistem cuprinde două mici mașini identice: *selsinul traductor ST* (fig. 26-43) și *selsinul receptor SR*. Fiecare selsin cuprinde un rotor R , care se poate învîrți în interiorul unui stator S . Ambele rotoare sînt alimentate prin intermediul unor dispozitive corespunzătoare, de la *aceeași* rețea de curent alternativ. Statorul fiecărui selsin este realizat ca un mic stator trifazat de mașină sincronă cu fazele legate în stea. Cele două statoare sînt legate electric între ele, după cum se vede pe figură. Rotorul selsinului traductor este legat rigid de piesa care se rotește și al cărei unghi de rotație trebuie transmis selsinului receptor.

Cîmpul magnetic alternativ din rotorul selsinului traductor induce cîte o forță electromotoare alternativă în fiecare înfășurare statorică. Cînd axul rotorului se găsește, de exemplu, după direcția axei care corespunde înfășurării 1 statorice, valoarea *eficace* E_1 a forței electromotoare induse în această înfășurare este maximă, adică:

$$E_1 = E_{max}.$$

Cînd axul rotorului face un unghi oarecare α cu axa înfășurării statorice 1, valoare eficace a forței electromotoare induse în înfășurarea 1 este:

$$E_1 = E_{max} \cos \alpha.$$

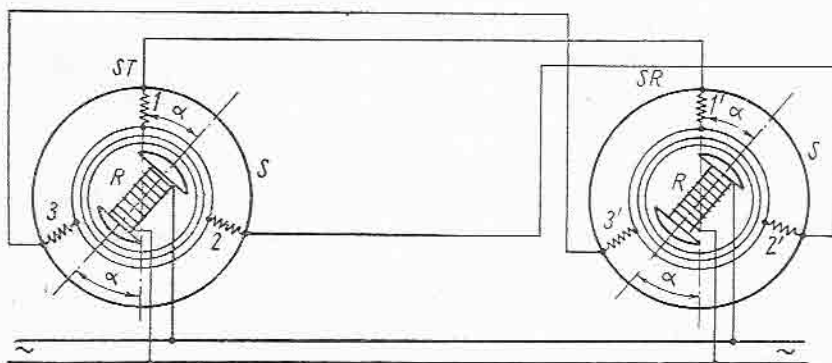


Fig. 26-43. Sistemul selsin pentru transmiterea unghiurilor.

Înfășurările 2 și 3 fiind decalate în spațiu cu unghiuri de 120° și respectiv 240° față de înfășurarea 1, valorile eficace E_2 și E_3 ale forțelor electromotoare induse în aceste bobinaje sînt :

$$E_2 = E_{max} \cos (\alpha + 120^\circ);$$

$$E_3 = E_{max} \cos (\alpha + 240^\circ).$$

Cele trei forțe electromotoare de valori eficace E_1 , E_2 și E_3 dau naștere în circuitele 1—1', 2—2' și 3—3' la trei curenți alternativi de valori eficace :

$$I_1 = \frac{E_1}{Z} = \frac{E_{max}}{Z} \cos \alpha,$$

$$I_2 = \frac{E_2}{Z} = \frac{E_{max}}{Z} \cos (\alpha + 120^\circ),$$

$$I_3 = \frac{E_3}{Z} = \frac{E_{max}}{Z} \cos (\alpha + 240^\circ),$$

unde Z este impedanța respectivă.

Se vede că suma celor trei curenți (care sînt în fază) este : $I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_{max}}{Z} [\cos \alpha + \cos (\alpha + 120^\circ) + \cos (\alpha + 240^\circ)] = 0$.

Din această cauză nu este necesar un conductor care să lege punctul central al conexiunii în stea ce formează înfășurările statorice ale selsinului traductor cu punctul central corespunzător selsinului receptor, dat fiind că prin acest conductor curentul este nul.

Curenții I_1 , I_2 și I_3 , trecînd prin înfășurările 1', 2' și 3' ale selsinului receptor, produc în fiecare înfășurare cîte un cîmp magnetic alternativ. Rezultanta acestor trei cîmpuri magnetice este un cîmp magnetic alternativ a cărui axă formează unghiul α cu axa verticală a selsinului receptor, conform figurii. Acest cîmp magnetic rezultat atrage rotorul selsinului receptor, astfel încît axa rotorului să coincidă cu axa cîmpului magnetic rezultat. În concluzie: axa rotorului aparținînd selsinului receptor, formează cu verticala același unghi α ca și axa rotorului aparținînd selsinului traductor.

La orice rotație cu unghi oarecare α a rotorului din selsinul traductor corespunde în același timp o rotație cu același unghi α a rotorului din selsinul receptor. Prin aceasta se realizează transmiterea mișcărilor unghiulare între selsinul traductor și selsinul receptor.

b. Comandă automată

Acționarea electrică a motoarelor din echipamentul mașinii de honuit de la capitolul XXV-3, *b* constituie un exemplu de comandă automată prin butoane și contactoare. Asemenea comenzi automate se întâlnesc la multe motoare electrice.

c. Măsurare automată

În procesele tehnologice, de multe ori este necesar ca o anumită mărime (temperatură, presiune, viteză etc.) să poată fi măsurată un interval de timp mai scurt sau mai lung, fie pentru a verifica mersul normal al procesului tehnologic, fie pentru ca, în funcție de valorile măsurate, să se facă intervențiile necesare. Măsurarea automată are avantajul — față de cea manuală — de a se face precis, rapid și de a nu obosi omul. Mărimea care trebuie măsurată în mod automat trebuie să treacă cel puțin printr-un traductor, care s-o transforme într-o mărime, de obicei, electrică.

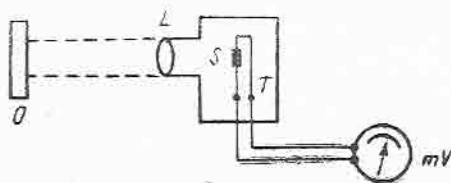


Fig. 26-44. Sistem de măsurare automată.

Figura 26-44 arată ca exemplificare un sistem de măsurare automată a temperaturii unui corp incandescent *O*. Radiațiile termice ale acestui corp, după ce sînt concentrate, cu ajutorul sistemului de lentile *L*, ating sudura *S* a unui termocuplu *T*, legat electric la milivoltmetrul *mV*. Acest milivoltmetru cu scara gradată de-a dreptul în unități de temperatură permite măsurarea automată a temperaturii corpului *O*. Aparatul de măsură poate fi indicator sau înregistrator.

d. Control automat

Sistemele de control automat permit să se verifice producția fabricilor, să se realizeze sortarea diferitelor produse, rebutîndu-se cele necorespunzătoare etc. Figura 26-45 arată principial un sistem automat pentru controlul unor fiole cu medicamente și eventual rebutarea lor.

O sursă de curent alternativ alimentează prin intermediul stabilizatorului de tensiune S lampa L . Razele luminoase sînt concentrate de lentila LC și traversează fiolele F deplasate de transportorul T . După traversarea unei fiole, fluxul luminos respectiv atinge celula fotoelectrică CF . Dacă medi-

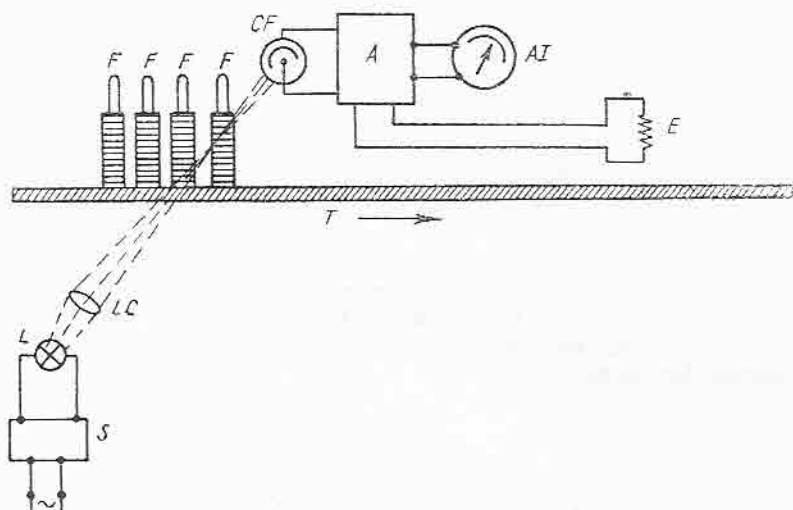


Fig. 26-45. Sistem de control automat.

camentul lichid din fiolă nu are transparența necesară, fluxul luminos este micșorat, iar celula fotoelectrică acționează prin intermediul amplificatorului A ; un aparat indicator AI arată dacă fiola este bună sau rea, iar un dispozitiv electromagnetic răstoarnă fiola necorespunzătoare de pe transportor.

c. Protecție automată

Protecția automată joacă un rol deosebit de important mai ales în buna funcționare a motoarelor electrice. Dacă din cauza unei suprasarcini curentul absorbit depășește valoarea maximă admisibilă, motorul trebuie deconectat în mod automat de la rețea, pentru a nu se produce avarii. Schema din figura 25-2, privind acționarea electrică a unei mașini de hînuit, cuprinde și protecția automată a motoarelor prin intermediul releelor termice $1RT$ și $2RT$. Deoarece aceste relee funcționează corect numai la suprasarcini mici, dar de lungă durată, este necesar a se utiliza și relee electromagnetice sau siguranțe fuzibile care declanșează brusc la suprasarcini mari (scurtcircuite).

Protecția automată este de asemenea utilizată și în sistemele energetice, pentru a deconecta în mod automat partea din instalație care este avariata.

În acest caz, protecția trebuie să fie *selectivă*, după cum se arată mai departe (fig. 26-46). Consumatorii $C_1 \dots C_7$ sînt alimentați de la generatorul G prin intermediul unei rețele care cuprinde întreruptoarele automate $I_1 \dots I_{11}$, prevăzute cu relee care provoacă declanșarea automată în caz de sarcină. Se presupune că la un moment dat se produce o suprasarcină inadmisibil de mare la consumatorul C_2 . Curentul de suprasarcină, care pleacă de la generator, trece prin întreruptoarele automate I_{11} , I_9 , I_8 , I_2 . Releele întreruptoarelor trebuie astfel reglate, încît întreruptorul I_2 (cel mai apropiat de C_2) să declanșeze primul, scoțînd din funcțiune consumatorul C_2 , dar permițînd pentru restul rețelei o funcționare normală. În consecință, protecția selectivă cere ca reglajul releelor să fie astfel făcut, încît *împul de acționare a declanșării să scadă pe măsura depărtării de generator*.

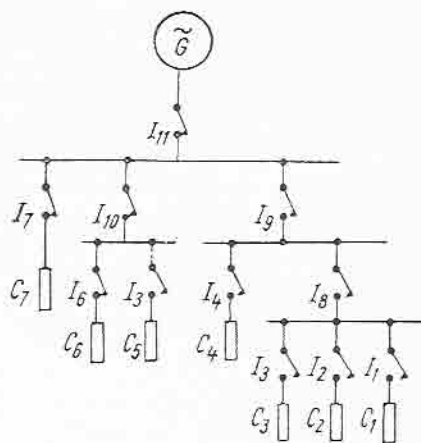


Fig. 26-46. Sistem de protecție automată selectivă.

f. Reglare automată

Reglarea automată poate fi *statică* sau *astatică*.

La reglarea astatică, la sfîrșitul procesului de reglaj, abaterea între valoarea precisă a mărimii de reglat și valoarea efectivă este nulă. Sistemul de reglare automată din figura 26-2, corespunde unei reglări astatice. La orice valoare a debitului de apă evacuată din rezervor, nivelul apei la sfîrșitul procesului de reglaj — adică la echilibru — devine egal cu nivelul prescris.

De asemenea, la reglarea astatică, organul care execută reglarea trebuie ca în momentul echilibrului să poată ocupa poziții diferite pentru valoarea prescrisă a mărimii de reglat care este o valoare unică. De exemplu, în figura 26-2, vana care reglează debitul de apă la intrarea în rezervor trebuie să poată ocupa poziții diferite, astfel ca la fiecare poziție nivelul apei la echilibru să atingă valoarea prescrisă.

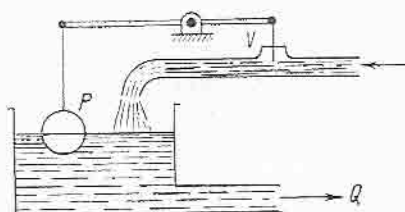
Un exemplu de reglare statică este arătat în figura 26-47. Dacă debitul de apă evacuat Q crește, nivelul scade, plutitorul P coboară, vana V se ridică, ceea ce mărește debitul de intrare a apei în rezervor și restabilește echilibrul, însă la un nivel al apei puțin mai coborît decît nivelul prescris.

Dacă debitul de apă evacuat se micșorează, plutitorul se ridică, iar vana V coboară, echilibrul restabilindu-se pentru un nivel puțin mai ridicat față de cel prescris.

În consecință, la reglarea statică, mărimea de reglat poate avea, după procesul reglajului, valori puțin diferite față de valoarea prescrisă. Reglajul static se bazează deci pe admiterea unei anumite *abateri*. Organul care execută reglarea statică trebuie să ocupe poziții diferite pentru diferitele valori atinse de mărimea de reglat la echilibru.

Reglarea astatică are avantajul anulării complete a abaterii, dar procesul de reglaj până la echilibru este mai lung. Reglarea statică se bazează pe existența unei mici abateri, în schimb procesul de reglaj este mai rapid.

Fig. 26-47. Sistem de reglare automată statică.



Reglarea poate fi *continuuă* sau *discontinuuă*. În sistemele de reglare continuă, la fiecare element, mărimea de ieșire, variază continuu (lin) atunci când mărimea de intrare variază continuu. În sistemele de reglare discontinuuă, cel puțin unul dintre elemente are o funcționare *în releu*, adică la o variație continuă a mărimii de intrare corespunde o variație în salt a mărimii de ieșire. Sistemele discontinue se utilizează de obicei la reglarea mărimilor cu variații lente, ca, de exemplu, temperatura unui cuptor, presiunea unui cazan etc.

Din alt punct de vedere, reglarea poate fi *directă* sau *indirectă*. Primului caz îi corespunde, de exemplu, figura 26-47, când energia necesară organului care execută reglajul, adică vana V , este luată de la un traductor, adică plutitorul P . Figura 26-2 corespunde cazului al doilea, când energia necesară vanei este dată de un element intermediar (motorul electric alimentat de la rețea).

În automatizări se utilizează de obicei reglarea indirectă, care permite o precizie mai mare.

De asemenea, sistemele de reglare pot fi cu valoare precisă *constantă* pentru mărimea de reglat sau cu valoarea prescrisă *variabilă după un anumit program*. De multe ori, primele sisteme se numesc și *reglatoare propriu-zise*, iar ultimele, *reglatoare cu program*.

În figura 26-48 se arată un sistem de reglare automată astatică pentru menținerea constantă a unei turații. Obiectul reglajului OR este o mașină-unealtă a cărei turație n (mărimea de reglat) trebuie menținută în mod automat constantă, independent de sarcina mașinii. Pe același ax cu mașina-

-uncaltă se găsește motorul electric de curent continuu OE , cu excitația separată E_1 și tahogeneratorul T excitat prin înfășurarea E_2 de la bateria B_1 . Potențialul aplicat de tahogenerator rezistenței R_1 este proporțional cu turația n a mașinii-unelte. Potențialul aplicat rezistenței R_2 depinde de poziția cursorului C_1 , care poate aluneca de-a lungul rezistenței R , alimentată tot de bateria B_1 . Mijlocul rezistenței R este legat la pământ.

Cursorul C_1 se așază într-o anumită poziție, care corespunde turației n_0 prescrisă a fi menținută constantă.

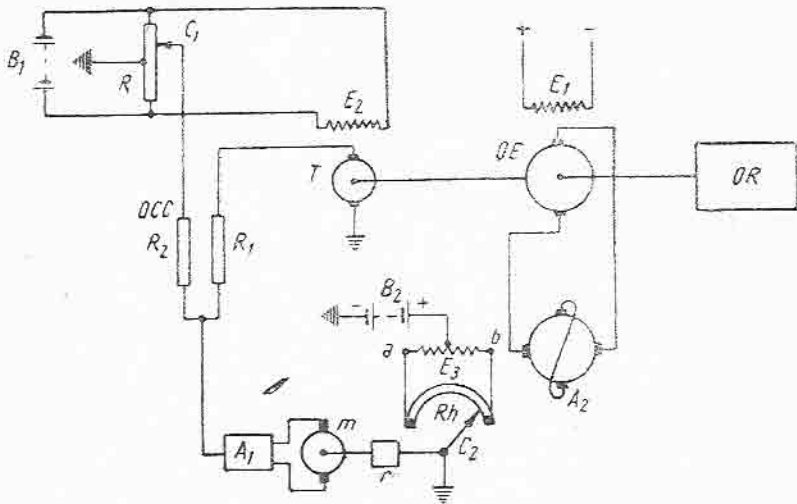


Fig. 26-48. Sistem de reglare automată astatică pentru menținerea constantă a unei turații.

La bornele organului de comparație și comandă OCC constituit din rezistențele R_1 și R_2 egale, se aplică deci un potențial proporțional cu turația n (la rezistența R_1) pe care o are efectiv la un moment dat mașina-unelte și un potențial proporțional cu turația n_0 (la rezistența R_2), care reprezintă valoarea dată sau prescrisă a mărimii de reglat.

Polaritatea potențialelor aplicate rezistențelor R_1 și R_2 este astfel încât potențialul la ieșirea din organul de comparație și control să fie proporțional cu :

$$n_0 - n = a$$

adică cu abaterea a a turației n efective față de turația n_0 prescrisă. Acest potențial proporțional cu a se aplică la grila amplificatorului ionic A_1 , constituit dintr-un tiratron (vezi cap. IX-5), care alimentează un mic motor de curent continuu m . Motorul poate realiza prin intermediul reductorului r ,

rotația cursorului C_2 de-a lungul reostatului Rh care este legat la bornele înfășurării E_3 . Aceasta constituie înfășurarea de comandă (sau de excitație) a amplidinei A_2 (acționată de un motor nedesenat), care alimentează motorul OE (organul de execuție). Mijlocul înfășurării de comandă E_3 este legat la polul pozitiv al baterii B_2 , care are celălalt pol legat la pământ. Cursorul C_2 este de asemenea legat la pământ, după cum se vede pe figură.

Se presupune că în stare de repaus a mașinii-unelte cursorul C_2 se găsește în poziția mijlocie a reostatului Rh . Tensiunea la bornele $a-b$ ale înfășurării de comandă E_3 este nulă, dat fiind că cele două jumătăți ale acestei înfășurări sînt parcurse de curenți egali și de sensuri contrare.

Pentru pornirea mașinii-unelte, se așază cursorul C_1 într-o poziție care corespunde turației n_0 prescrise. În acest caz, asupra amplificatorului tiratron A_1 se aplică un potențial proporțional cu :

$$n_0 - 0 = n_0,$$

iar servomotorul m , găsindu-se sub tensiune, începe să rotească cursorul C_2 într-un anumit sens. Curenții în cele două jumătăți ale înfășurării E_3 nemai-fiind egali, la bornele $a-b$ apare o tensiune de un anumit sens, care face ca amplidina A_2 , la rîndul ei, să aplice motorului OE o tensiune astfel încît acesta începe să se rotească — acționînd mașina-unealtă — în sensul necesar.

Pe măsură ce turația motorului OE se apropie de n_0 , tahogeneratorul T , care funcționează ca traductor, aplică asupra rezistenței R_2 un potențial din ce în ce mai mare și proporțional cu turația efectivă n a motorului OE . astfel încît la un moment dat abaterea $n_0 - n = a$ se anulează. Totodată, se anulează și potențialul aplicat amplificatorului A_1 , astfel că servomotorul m se oprește o dată cu cursorul C_2 .

Dacă la un moment dat sarcina mașinii-unelte crește, turația sa scade, ceea ce face să apară o abatere a , care pune din nou în mișcare servomotorul m și cursorul C_2 , astfel ca tensiunea aplicată motorului OE să crească pentru a readuce turația la valoarea prescrisă n_0 . Dacă sarcina scade, turația motorului OE crește, iar abaterea a de sens contrar față de prima dată, face ca servomotorul m și cursorul C_2 să funcționeze în sens invers, micșorînd tensiunea la bornele motorului OE și deci turația sa, pentru a se anula din nou abaterea etc.

g. Urmărirea automată

Sistemele de urmărire automată pot fi considerate o variantă a sistemelor de reglare automată. Urmărirea automată permite ca o serie de fenomene — de exemplu deplasări mecanice, care necesită un consum neînsemnat de energie — să fie reproduse punîndu-se însă în joc o energie mult mai importantă. Urmărirea automată se aplică, de exemplu, la prelucrarea metalelor prin mașini de copiat electrice.

Se presupune, de pildă, că piesa P (fig. 26-49) trebuie să fie frezată prin copiere, cu ajutorul frezei F , astfel încât să capete forma arătată punctat. Mașina de copiat conține *capul de copiat* K , prevăzut cu o tijă p , numită palpator, care trebuie să rămână mereu în contact (să palpeze) cu *șablonul* S , care are forma pe care trebuie s-o capete piesa de prelucrat.

Capul de copiat este deplasat în mod permanent spre piesa P în sensul mișcării II , de către motorul electric 7, prin intermediul unei comenzi corespunzătoare. În acest timp palpatorul p urmărește conturul șablonului S și poate apăsa la un moment dat capătul pîrghiei 1, comprimînd resortul 2, sau poate coborî, dacă este cazul, sub influența resortului 2.

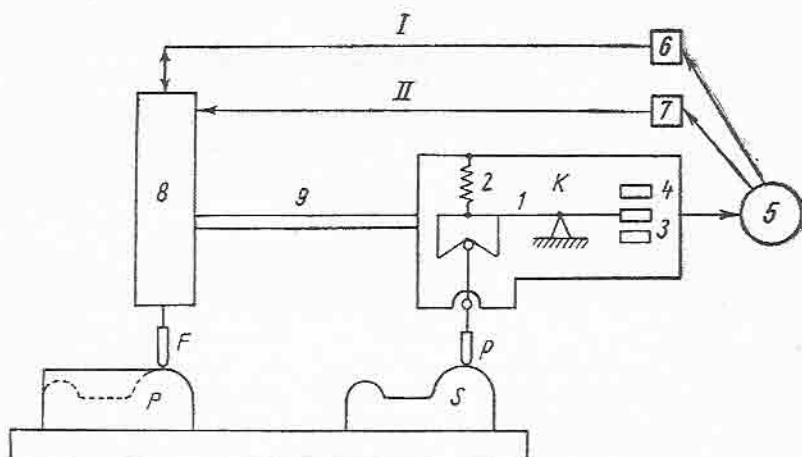


Fig. 26-49. Sistem de urmărire automată (de copiere).

Dacă profilul șablonului obligă palpatorul să coboare, se închide contactul 4; aceasta face ca un semnal electric să pornească de la capul de copiat, să treacă prin amplificatorul 5, după care să ajungă amplificat la organul de execuție 6 (motor electric). Acesta acționează prin mișcarea I (în jos) asupra suportului 8, care poartă freza F . Freza coboară pentru a prelucra piesa P . Prin legătura 9, de obicei mecanică, este coborît și capul de copiat.

Dacă profilul șablonului S obligă palpatorul p să se ridice, se închide contactul 3. Ca urmare a unui alt semnal ce trece prin amplificatorul 5 și organul de execuție 6, suportul frezei, împreună cu freza, se ridică, iar legătura 9 ridică și capul de copiat.

Mișcarea care readuce mereu capul de copiat într-o poziție concordantă cu suportul frezei are ca efect repunerea pîrghiei 1 în poziția sa mijlocie, cînd ambele contacte sînt deschise. Dacă palpatorul urmărește o suprafață orizontală a șablonului, atunci și suportul frezei, împreună cu freza, se deplasează pe orizontală.

4. STABILIREA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ ȘI CALITATEA REGLĂRII

Funcționarea unui sistem de reglare automată este supusă influenței unor *factori perturbatori* ce pot interveni dinafara sistemului. În sistemul din figura 26-48, de exemplu, o variație de sarcină a mașinii-unelte *OR* constituie un asemenea factor perturbator. Deoarece sistemul este format, după cum se știe, dintr-un circuit închis, factorul perturbator se propagă prin toate elementele sistemului de un număr oarecare de ori, un interval de timp mai lung sau mai scurt, dînd naștere la o serie de fenomene *tranzitorii*. Cu cît aceste fenomene duc mai repede la o situație de echilibru, sistemul are o *stabilitate* mai bună. Cînd fenomenele tranzitorii nu duc la o situație de echilibru, sistemul se numește *instabil*.

Dacă, în urma unei perturbări, mărimea de reglat variază în timp de la o valoare 1 (fig. 26-50, *a*) după o curbă exponențială, la valoarea nouă de echilibru 2, sistemul este evident stabil, iar procesul tranzitoriu se numește *aperiodic*. Dacă perturbarea are ca efect fenomene tranzitorii oscilatorii (fig. 26-50, *b*), cînd mărimea de reglat se stabilizează după o serie de oscilații

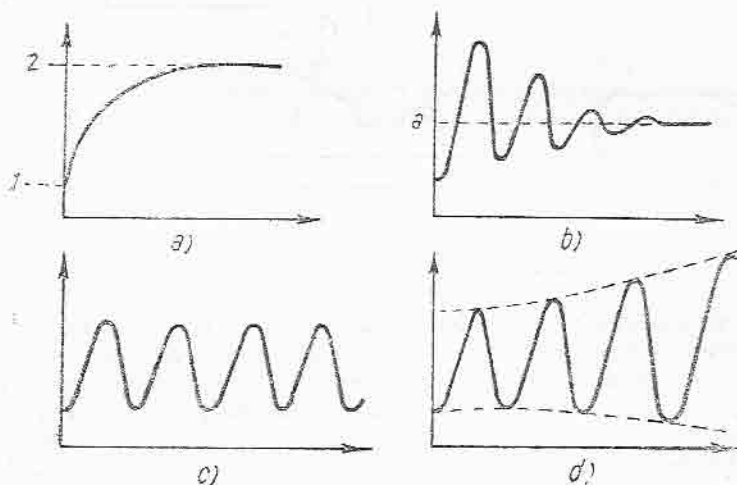


Fig. 26-50. Stabilitatea sistemelor de reglare automată.

amortizate (descrescătoare) la o nouă valoare de echilibru *a*, procesul tranzitoriu se numește *oscilații amortizate*. Sistemul este și în acest caz stabil. Se poate întîmpla însă ca oscilațiile să rămînă neamortizate (fig. 26-50, *c*), sau să crească încontinuu (fig. 26-50, *d*); în aceste cazuri, sistemul este instabil și nu poate funcționa.

Una din cele mai importante operații de calcul care trebuie îndeplinită în legătură cu sistemele de reglare automată constă în verificarea stabilității lor. În acest scop se pot aplica diferite metode care țin seama de caracteristicile elementelor ce constituie sistemul automat respectiv de exemplu, metodele sau criteriile *Routh-Hurwitz*, *Mihailov* ș.a.).

Dacă cercetarea stabilității duce la concluzia că sistemul este instabil, se modifică unele elemente ale sistemului, se introduc elemente noi stabilizatoare etc., astfel încît sistemul să devină stabil.

După ce s-a ajuns la un sistem automat stabil, este necesar să se cerceteze și calitatea procesului de reglare îndeplinit de sistem. În această privință, joacă un rol important gradul de precizie a reglării, rapiditatea reglării, felul proceselor tranzitorii prin care se efectuează reglarea ș.a. Pentru aprecierea calității unui sistem de reglare automată există, de asemenea, o serie de metode matematice destul de complicate.

5. TELEMECANICĂ

a. Generalități

În sistemele automate studiate mai înainte, distanța între obiectul reglării și diferitele elemente ale instalației este relativ mică. Dacă însă această distanță este atât de mare încît necesită introducerea unor instalații speciale pentru emisia, transmiterea și recepția semnalelor, sistemul se numește *de telemecanică*.

Ca și sistemele obișnuite automate, sistemele de telemecanică pot fi în circuit închis sau în circuit deschis. La sistemele de reglare automată studiate — care sînt în circuit închis — corespund în telemecanică sisteme de

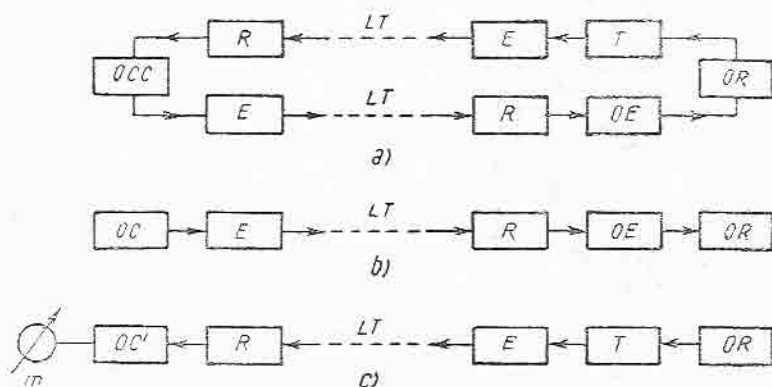


Fig. 26-51. Structura generală a sistemelor de telemecanică.

telereglare automată. De asemenea, la sistemele de comandă, control și măsurare de exemplu — care sînt în circuit deschis — corespund în telemecanică sisteme de *telecomandă*, *telecontrol* și *telemăsurare*.

În figura 26-51 se arată structura generală a unui sistem de telereglare automată (fig. 26-51, *a*), de telecomandă automată (fig. 26-51, *b*) și de telemăsurare automată (fig. 26-51, *c*). Pe figură *OR* reprezintă obiectul reglajului, *T* — traductor, *OCC* — organ de comparație și comandă, *OC* — organ de comandă, *OC'* — organ de control, *OE* — organ de execuție, *m* — aparat de măsurare, *E* — emițător de semnale, *R* — receptor de semnale și *TI* — linie de telecomunicații, pentru transmiterea la distanță a semnalelor.

Telemecanica își găsește utilizarea în practică în special în sistemele electroenergetice, care cuprind centrale și stații electrice interconectate așezate la mari distanțe între ele, dar care trebuie să funcționeze într-un cadru coordonat, în raport cu necesitățile de producere, transport și distribuție de energie electrică.

b. Sisteme de telemăsurare

Sistemele de telemăsurare se pot clasifica în sisteme pentru distanță mică, de 10...20 km, și în sisteme pentru distanță mare, pînă la sute de kilometri. Sistemele de telemăsurare la distanță mică folosesc de obicei traducătoare, care transformă mărimea de măsurat într-o mărime electrică — intensitate sau tensiune continuă — ce se transmite apoi la distanță. Sistemele de telemăsurare la distanță mare utilizează transmiterea unor impulsuri electrice sau a unui curent alternativ de frecvență variabilă.

În figura 26-52 se arată schema de principiu a unui sistem de telemăsurare cu traductor de inducție și redresor electronic, pentru distanțe de

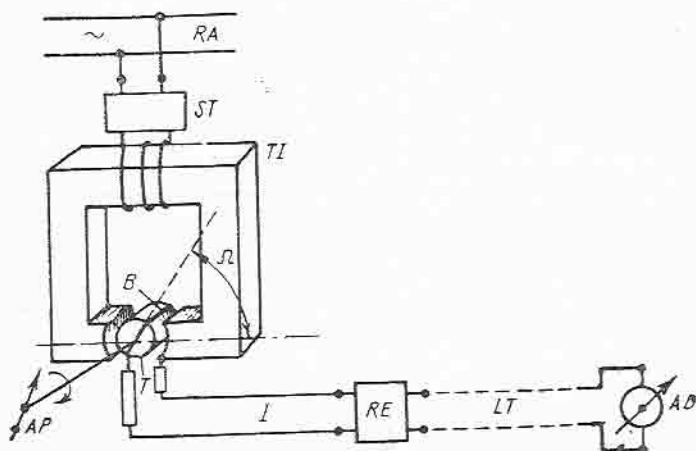


Fig. 26-52. Principiul telemăsurării cu traductor de inducție și redresor electronic.

10...20 km. Traductorul de inducție TI se alimentează de la rețeaua de curent alternativ RA prin intermediul stabilizatorului de tensiune ST . Forța electromotoare E de inducție, care ia naștere în bobina B , înfășurată în jurul tamburului T , depinde de unghiul Ω pe care-l face planul bobinei cu planul orizontal.

Dacă $\Omega=0$, atunci $E=0$ și curentul $I=0$. Pentru $\Omega=90^\circ$, forța electromotoare E și curentul I au valori maxime. Axul de rotație a bobinei B este legat rigid de aparatul primar de măsurare AP . Curentul I este redresat de către redresorul electronic RE și transmis apoi prin linia de telecomunicație LT aparatului de măsurare la distanță AD .

Linia de telecomunicație poate fi aeriană, pe stâlpi, sau în cablu subteran. Curentul de linie este de aproximativ 0,5...1 mA. Eroarea maximă a sistemului este în mod normal de $\pm 2\%$. Când linia de telecomunicație se întrerupe din cauza unei avarii, aparatul de măsurare AD indică zero, adică la fel ca și în cazul când unghiul $\Omega=0$. Pentru a se evita confuziile posibile și a se atrage atenția asupra avariei, instalația este astfel realizată încât, chiar când aparatul primar de măsurare indică zero, pe linie să treacă un curent de intensitate redusă, care arată că linia nu este întreruptă. Aparatul AD are scara gradată în consecință.

Sistemele de telemăsurare prin impulsuri (pentru distanțe mari) se bazează pe numărul, durata, codificarea sau frecvența impulsurilor. În sistemul bazat pe numărul impulsurilor, fiecare valoare a mărimii măsurate corespunde unui anumit număr de impulsuri. Dacă sistemul se bazează pe durata impulsurilor, valoarea mărimii de măsurat corespunde duratei fiecărui impuls (uneori duratei dintre impulsuri). În metoda codificării, fiecărei valori a mărimii de măsurat îi corespunde un anumit număr proporțional cu valoarea respectivă. Numărul se exprimă prin cifrele care-l compun, iar fiecare cifră printr-o anumită combinație (codificare) de impulsuri de polarități diferite (pozitive și negative). În metoda frecvenței impulsurilor, fiecărei valori a mărimii de măsurat îi corespunde o anumită frecvență a impulsurilor, adică un anumit număr de impulsuri în unitatea de timp.

Se va exemplifica mai jos utilizarea metodei frecvenței impulsurilor pentru măsurarea la distanță a unei puteri electrice (fig. 26-53). În acest caz se poate conveni, de exemplu, ca pentru o putere de 1 000 kW să corespundă 10 impulsuri pe secundă, pentru 500 kW să corespundă 5 impulsuri pe secundă etc.

Se știe că energia electrică se măsoară cu contorul, numărul de rotații al axei contorului fiind proporțional cu energia măsurată. În consecință, numărul de rotații în unitatea de timp, adică viteza de rotație a axului, va fi proporțional cu energia în unitatea de timp, adică cu puterea electrică respectivă.

Contorul Wh măsoară puterea care trebuie transmisă aparatului de măsurare la distanță AD . Axul contorului rotește discul D prevăzut la periferia lui cu orificiile O . Lampa L transmite prin aceste orificii un anumit flux luminos celulei fotoelectrice CF . Fluxul luminos ajunge la celula fotoelectrică când în drumul său se găsește un orificiu și este întrerupt atunci când

trecerea fluxului este oprită de porțiunea de disc dintre două orificii. Curentul i_1 , datorit celulei CF , va corespunde deci unor impulsuri avînd o frecvență proporțională cu turația discului D , deci cu puterea măsurată de contorul Wh .

Impulsurile sînt amplificate de amplificatorul A și transmise la distanță prin linia de telecomunicații LT releului R . La fiecare impuls, releeul atrage armătura sa a în poziția 1, făcînd ca bateria B să încarce condensatorul C printr-un curent i_2 , care trece prin rezistența de limitare R_1 și aparatul de măsurat AD . Cînd impulsul dispăre, armătura releului revine în poziția 2, iar condensatorul C se descarcă prin rezistența R_2 .

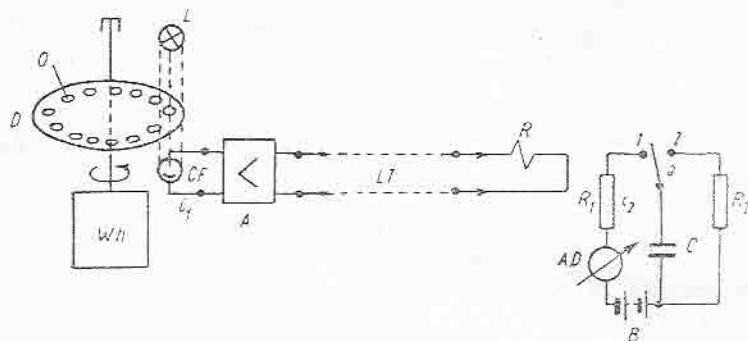


Fig. 26-53. Sistem de telemăsurare bazat pe frecvența impulsurilor.

satorul C printr-un curent i_2 , care trece prin rezistența de limitare R_1 și aparatul de măsurat AD . Cînd impulsul dispăre, armătura releului revine în poziția 2, iar condensatorul C se descarcă prin rezistența R_2 .

La fiecare încărcare a condensatorului, curentul prin aparatul AD variază de la o anumită valoare la zero. Acul aparatului va lua poziția corespunzătoare curentului mediu. Cu cît numărul de impulsuri în unitatea de timp este mai mare (frecvența impulsurilor mai mare) cu atît curentul mediu prin aparat va crește — și invers. În consecință, indicația aparatului corespunde frecvenței impulsurilor, adică puterii care trebuie măsurată la distanță.

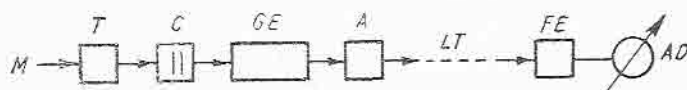


Fig. 26-54. Schema bloc a unui sistem de frecvență pentru telemăsurare.

Sistemele pentru măsurare la distanțe mari cu ajutorul unui curent alternativ de frecvență variabilă se numesc de obicei *sisteme de frecvență* (fig. 26-54). Mărimea de măsurat M este introdusă într-un traductor T , a cărui mărime de ieșire — de exemplu o deplasare — poate varia capacitatea condensatorului C . Prin GE s-a notat un generator electronic de curent alternativ. Frecvența curentului produs de generatorul GE depinde de va-

loarea capacității C , care, de fapt, face parte din generator*. Frecvența acestui curent poate fi deci proporțională cu mărimea de măsurat. După trecerea prin amplificatorul A și linia de telecomunicații LT , curentul ajunge la *frecvențimetrul electronic FE*. Acest frecvențimetru se comportă ca un traductor având ca mărime de intrare frecvența de măsurat, iar ca mărime de ieșire un curent proporțional cu frecvența. Curentul este măsurat de aparatul AD . În definitiv, deviația acului acestui aparat va fi proporțională cu mărimea M , a cărei valoare trebuie măsurată la distanță.

c. Sisteme de telecomandă și telesemnalizare

Funcționarea sistemelor de telecomandă și telesemnalizare se bazează pe aceleași principii, astfel încât sînt tratate împreună. Cu ajutorul sistemelor de telecomandă se pot comanda la distanță diferite operații (ca, de exemplu, închideri și deschideri de întrerupătoare), iar cu ajutorul sistemelor de telesemnalizare se pot semnaliza la distanță pozițiile în care se găsesc diferite aparate, utilaje etc. (ca, de exemplu, poziția de „închis” sau „deschis” a unui întrerupător, poziția „în mers” sau „în repaus” a unui motor etc.). De multe ori, sistemele de telecomandă sînt combinate cu cele de telesemnalizare. Astfel, de exemplu, de la un post de dispecer energetic se poate comanda la distanță închiderea unui întrerupător, iar din locul întrerupătorului se semnalizează la postul de dispecer poziția întrerupătorului respectiv. În felul acesta se poate urmări dacă telecomanda s-a îndeplinit efectiv.

La diversele sisteme de telecomandă și telesemnalizare, se transmit prin *canalele de telecomunicații* (cu sau fără fir) diferite impulsuri. Există sisteme cu mai multe canale și sisteme cu un singur canal. La primele, se transmit simultan mai multe semnale, pe cînd la ultimele, semnalele trebuie să aibă o succesiune în timp.

În figura 26-55 se arată schema de principiu a unui sistem cu mai multe canale, pentru comanda la distanță a unor întrerupătoare și semnalizarea poziției lor. În afară de canalul comun C , pentru fiecare întrerupător I_1, I_2 etc. există cite două canale C_1 și C'_1, C_2 și C'_2 etc., între postul de comandă și control PC și postul întrerupătoarelor PI .

Se presupune că la un moment dat întrerupătorul I_1 (nedeșenat) se găsește declanșat. În această situație, contactul său auxiliar c_1 este menținut în poziția superioară. În consecință, trece un curent prin releu CAI pentru comanda declanșării întrerupătorului I_1 prin releul SDI pentru semnalizarea poziției „declanșat” prin rezistența de valoare mare R_1 . Releele sînt astfel construite, încît cel de comandă să nu poată funcționa decît cu un curent mare, iar cel de semnalizare să poată funcționa cu un

* Oscilatorul cu triodă din figura 9-11 este un exemplu de generator electronic de frecvență, la care valoarea frecvenței depinde de mărimea capacității C .

curent mic. Din cauza valorii mari a rezistenței R_1 , curentul este mic și funcționează numai releul de semnalizare $SD1$, aprinzând o lampă (nedesenată), care semnalizează poziția „declanșat” a întreruptorului I_1 .

Cînd este necesar să se comande de la distanță anclanșarea întreruptorului I_1 , se așază cheia K_1 în poziția inferioară, închizîndu-se astfel derivația constituită din rezistența r_1 de valoare mică și cheia K_1 . Curentul prin releul $CA1$ pentru comanda anclanșării crește la o valoare suficient

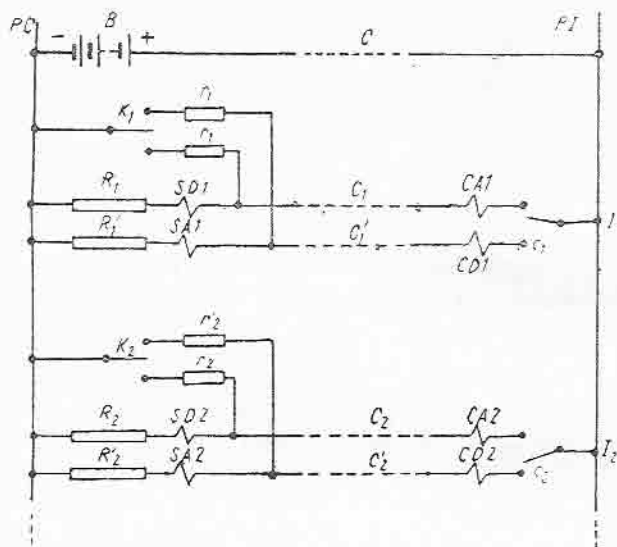


Fig. 26-55. Sistem de comandă și semnalizare cu mai multe canale.

de mare pentru a pune în funcțiune acest releu, care comandă anclanșarea. În acest moment, contactul auxiliar c_1 este adus printr-un dispozitiv mecanic în poziția sa inferioară.

Releul $SD1$, nemaifiind parcurs de curent, este scos din funcțiune, iar lampa care semnalizează poziția „declanșat” a întreruptorului I_1 se stinge. Se stabilește în schimb curentul prin releul $CD1$ (pentru comanda declanșării întreruptorului), prin releul $SA1$ (pentru semnalizarea poziției „anclanșat” a întreruptorului) și prin rezistența R'_1 de valoare mare. Curentul fiind mic, releul de comandă $CD1$ nu funcționează, dar releul de semnalizare funcționează și aprinde o lampă (nedesenată) care semnalizează poziția „anclanșat” a întreruptorului.

Dacă este necesar să se comande declanșarea întreruptorului I_1 se aduce cheia K_1 în poziția superioară, ceea ce permite să treacă curentul și prin rezistența r'_1 de valoare mică. În mod asemănător se procedează pentru comanda celorlalte întreruptoare, ținînd seama că rezistențele R au o valoare mare, iar rezistențele r , o valoare mică.

Principiul simplificat de funcționare a unui sistem de comandă cu un canal rezultă din figura 26-56. La postul de comandă P_1 , ca și la postul comandat P_2 , se găsește câte un distribuitor D_1 și D_2 , care funcționează în sincronism. Cele două cursoare C_1 și C_2 se rotesc cu aceeași viteză și în același timp, astfel că, în momentul cînd cursorul C_1 se găsește, de exemplu,

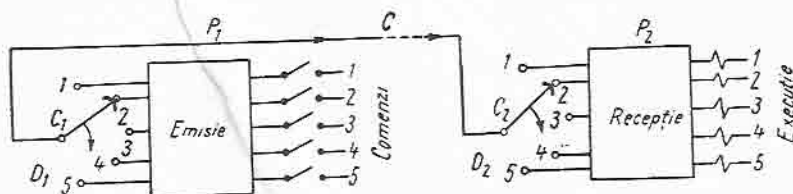


Fig. 26-56. Sistem de comandă cu un singur canal.

pe plotul 2, cursorul C_2 se găsește de asemenea pe plotul corespunzător 2. Dacă trebuie să fie comandat, de exemplu, obiectul 2 al postului P_2 , se închide întreruptorul 2 la postul de comandă P_1 (comenzi). Prin aceasta cînd cursorul C_1 vine în contact cu plotul 2, prin canalul C pleacă un semnal la distribuitorul D_2 din postul P_2 . În acest moment însă, cursorul C_2 se găsește în contact cu plotul 2 din postul P_2 , astfel încît releul corespunzător 2 (execuție) transmite comanda respectivă organului de execuție care acționează obiectul 2. În mod asemănător se pot comanda și celelalte obiecte din postul P_2 .

CAPITOLUL XXVII

PROCEDEE ELECTROTEHNOLOGICE ȘI DE PRELUCRARE PRIN ULTRASUNETE

1. CUPTOARE ELECTRICE

a. Generalități

În cuptoarele electrice, energia electrică este transformată în energie termică. Relația de transformare între aceste două feluri de energie este:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal.}$$

Avantajele principale ale cuptoarelor electrice sînt: curățenie, simplitate, reglare continuă și precisă, posibilitatea de a obține temperaturi înalte ș.a.

Dezavantajele principale sînt datorite costului ridicat al energiei electrice și al instalației.

Clasificarea cuptoarelor electrice se poate face după modul în care se realizează transformarea energiei electrice în energie termică. Din acest punct de vedere, există cuptoare *cu rezistență* și *cuptoare cu arc*. În cuptoarele cu rezistență, curentul electric trecînd printr-un conductor de o anumită rezistență electrică produce căldură pe baza legii Joule-Lenz. În cuptoarele cu arc, căldura este produsă de arcul electric ce se obține între electrozii cu care este prevăzut cuptorul.

Cuptoarele electrice cu rezistență se împart în cuptoare *cu acțiune indirectă*, *cu acțiune directă* și *de inducție*. La cuptoarele cu acționare indirectă, căldura se produce în elemente încălzitoare speciale (rezistoare) și se transmite materialului care trebuie încălzit, prin radiație și convecție. La cuptoarele de acțiune directă, curentul electric luat de la rețea trece direct prin materialul care trebuie încălzit. La cuptoarele de inducție, materialul care trebuie încălzit este așezat într-un cîmp magnetic alternativ. În interiorul materialului apar curenți de inducție, care produc căldura pe baza legii Joule-Lenz. De multe ori, numai primele două tipuri (cu acțiune directă și indirectă) sînt denumite cu rezistență, ultimul tip fiind numit, pe scurt,

de inducție, deși în realitate și la cuptorul de inducție căldura se datorează trecerii curentului de inducție printr-un conductor (materialul de încălzit) cu o anumită rezistență electrică.

Cuptoarele electrice cu arc se împart în cuptoare cu acțiune directă și cuptoare cu acțiune indirectă. La primele, arcul se produce între electrozi și materialul ce trebuie încălzit, iar la ultimele, arcul se produce numai între electrozi, căldura transmițându-se prin radiație și convecție materialului ce trebuie încălzit.

b. Cuptoare cu rezistență și cu acțiune indirectă

Acestea se împart în două grupe: cu temperaturi joase, până la circa 700°C și cu temperaturi înalte, până la circa 1400°C . Cuptoarele cu rezistență și acțiune indirectă se utilizează pentru tratamente termice, topirea în creuzete, încălzirea băilor cu săruri ș.a.

Figura 27-1 reprezintă schema constructivă a unui asemenea cuptor pentru temperaturi joase. Cu 1 s-a notat un element încălzitor (rezistor), care este parcurs de curent electric. Între peretele exterior 2 și peretele

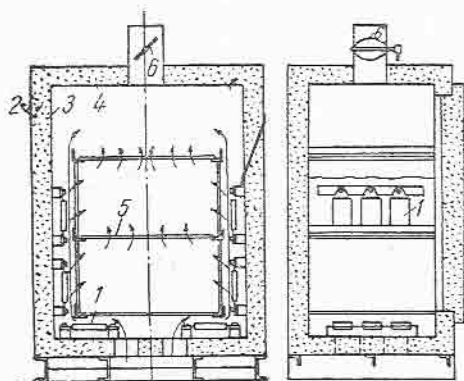


Fig. 27-1. Cuptor cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi joase.

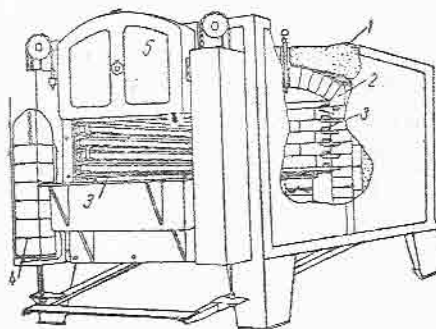


Fig. 27-2. Cuptor cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi înalte.

interior 3 se găsește un material termoizolant 4. Piesele care trebuie încălzite se așază pe rafturile 5. Săgețile indică curenții de aer din interiorul cuptorului, care pot fi reglați cu clapeta specială 6. Asemenea cuptoare se construiesc de obicei pentru temperaturi de $200-300^{\circ}\text{C}$.

În figura 27-2 se arată cel mai întrebuițat cuptor electric cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi înalte. Un asemenea cuptor este

utilizat mai ales pentru tratamentele termice la sculării. Camera internă are o formă paralelipipedică cu o înălțime de circa 400 mm și dimensiuni în plan de aproximativ 500×700 mm. Pentru temperaturi pînă la circa $1\,000^\circ\text{C}$, rezistoarele 3 se execută din oțeluri aliate cu crom și nichel. Pentru temperaturi între $1\,000^\circ\text{C}$ și $1\,350^\circ\text{C}$ rezistoarele se execută din *silită* (carbură de siliciu). În exterior cuptorul este prevăzut cu izolarea termică 1, căptușeala 2 fiind realizată din șamotă. Ușa 5 a cuptorului poate fi ridicată cu ajutorul contragreutății 4.

c. Cuptoare cu rezistență și acțiune directă

La aceste cuptoare, curentul electric produs de secunderul unui transformator trece direct prin piesa ce trebuie încălzită. Acest sistem de încălzire este foarte economic, deoarece întreaga căldură produsă trece prin piesă. Totuși, metoda prezintă un mare neajuns tehnic: deoarece piesele care se încălzesc n-au de obicei o secțiune uniformă și o structură omogenă, nu se poate obține o încălzire corespunzătoare. Din această cauză, metoda este rar întrebuințată și numai la piesele la care se poate asigura o încălzire uniformă.

d. Cuptoare de inducție

Acestea se clasifică în *cuptoare cu frecvență normală* (50 Hz) și *cuptoare cu frecvență înaltă*, de la 200 pînă la 100 000 Hz. Cuptoarele de inducție se întrebuințează în special pentru topit metale. Cuptoarele de înaltă frecvență își găsesc utilizare și la călirea pieselor de oțel.

Principiul de funcționare al cuptorului de inducție cu frecvență normală este ilustrat în figura 27-3. În jurul unui miez de oțel se găsește o înfă-

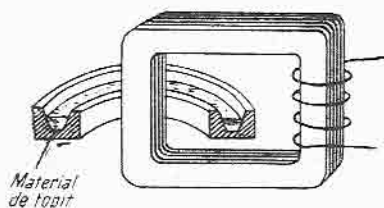


Fig. 27-3. Principiul cuptorului de inducție cu frecvență normală.

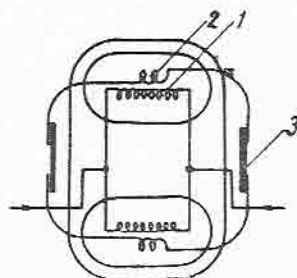


Fig. 27-4. Schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală.

șurare prin care trece curentul electric cu frecvență normală de 50 Hz. Această înfășurare constituie primarul unui transformator. Secundarul transformatorului este realizat chiar din materialul care trebuie topit, după cum se arată în figură. Curentul de inducție care trece prin secundar încălzește materialul respectiv. Aceste cuptoare pot fi monofazate sau trifazate. În figura 27-4 se arată schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală. Circuitul primar 1 cuprinde două înfășurări legate în paralel. Secundarul este construit, după cum se știe, din materialul care trebuie încălzit. Se obișnuiește însă să se adauge încă un circuit secundar, realizat din înfășurările 2 și plăcile de cupru 3. În timpul funcționării, plăcile de cupru, încălzindu-se, măresc cantitatea de căldură produsă.

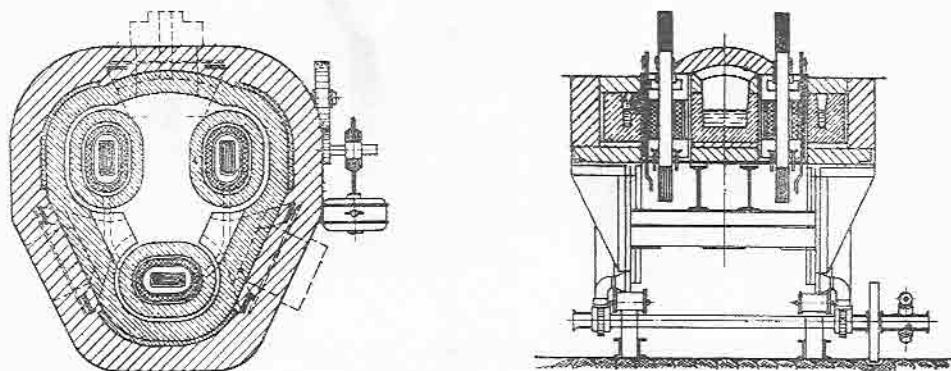


Fig. 27-5. Secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală.

Figura 27-5 reprezintă două secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală. Transformatorul unui asemenea cuptor are trei coloane de oțel. Principiul de funcționare este analog cu acela al cuptorului monofazat.

Cuptoarele de inducție cu înaltă frecvență prezintă particularitatea că transformatorul respectiv are un miez de oțel.

În figura 27-6 se reprezintă un asemenea cuptor. El cuprinde un creuzet 1 izolat termic ce conține materialul de încălzit. Creuzetul se găsește așezat în interiorul unui solenoid 2 străbătut de curent electric de înaltă frecvență. Solenoidul se execută din țevă de cupru, prin care trece apă de răcire. Alimentarea cu energie electrică se face fie de la o mașină generatoare de înaltă frecvență, fie de la un dispozitiv cu tuburi electronice.

Pentru cuptoarele de topit cu puteri mici se folosesc de obicei frecvențe de 1 000 — 100 000 Hz, iar în cazul puterilor mari, frecvențe de 200—2 500 Hz.

Cuptoarele de înaltă frecvență pot servi și la călirea superficială a pieselor de oțel. Cu cât frecvența este mai înaltă, cu atât curentul se repar-

tizează mai mult la periferia piesei. În felul acesta, piesa se încălzește numai pe o grosime mică, astfel încît nu se produc modificări structurale în interiorul piesei, ceea ce de multe ori are un rol foarte important în procesele tehnologice.

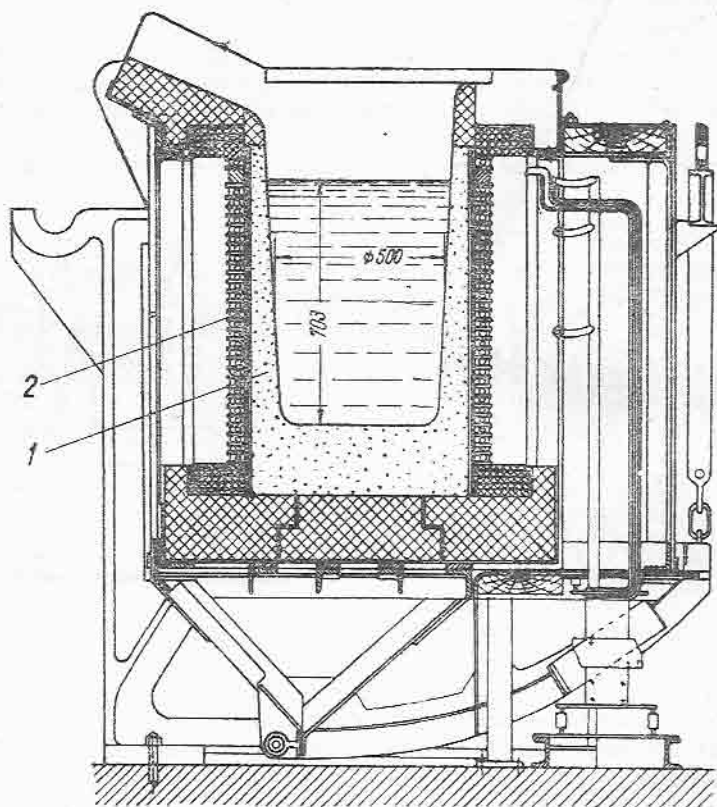


Fig. 27-6. Cuptor de inducție cu înaltă frecvență.

e. Cuptoare cu arc

Cuptoarele cu arc permit, în general, o reglare prea precisă a temperaturii, astfel încît nu pot fi utilizate la tratamente termice, ci aproape numai la topirea metalelor. Figura 27-7 reprezintă schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și cu acțiune directă. Arcul se produce între cei trei electrozi verticali și metalul stabilit sub electrozi, care trebuie topit prin încălzire. Cuptoarele cu acțiune directă sînt de obicei trifazate și se realizează pentru puteri mari, de 10-15 mii kWA, servind la topirea metalelor greu fuzibile și, mai ales, la topirea oțelului.

În figura 27-8 se arată schema constructivă de principiu a unui cuptor cu arc și acțiune indirectă. Arcul se formează între electrozii orizontali, fără să atingă metalul de topit. Asemenea cuptoare sînt de obicei de puteri mai mici (500...600 kVA) și produc temperaturi de 1 300... 1 400°C. Ele sînt monofazate și se folosesc la topirea metalelor neferoase.

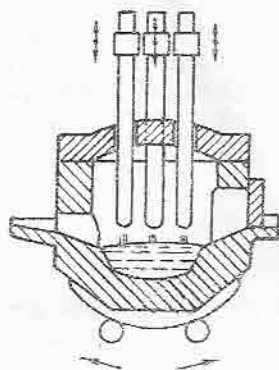


Fig. 27-7. Schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și acțiune directă.

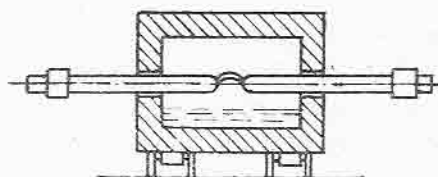


Fig. 27-8. Schema constructivă de principiu a unui cuptor monofazat cu arc și acțiune indirectă.

2. PROCEDEE ELECTROCHIMICE

a. Generalități

Prin procedee electrochimice se înțeleg metode de utilizare în tehnică a unor fenomene electrotehnice, adică fenomene în care intervin în mod esențial atât energia electrică, cât și cea chimică. În capitolul III s-a explicat fenomenul de electroliză, care este un proces electrochimic cu multe aplicații tehnice. De asemenea, s-au explicat fenomenele electrochimice pe baza cărora funcționează acumulatele și pilele electrice. În capitolul de față se vor arăta unele procedee electrochimice utilizate în tehnică la fabricarea unor elemente, rafinarea unor metale și acoperirea cu metale a unor obiecte.

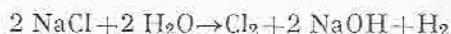
b. Fabricarea electrolitică a hidrogenului și a oxigenului

Fabricarea hidrogenului și oxigenului prin electroliză este avantajoasă atunci când se dispune de energie electrică ieftină, de exemplu energia hidroelectrică.

Se știe că o moleculă de apă conține doi atomi de hidrogen și unul de oxigen. Prin electroliza apei se obțin hidrogen și oxigen. În practică însă nu se întrebuintează apă pură, ci o soluție de hidroxid de potasiu sau sodă caustică. Dacă electroliza are loc la temperaturi mai joase, este de preferat hidroxidul de potasiu, deoarece are o conductibilitate electrică mai bună. La temperaturi mari, provoacă însă o coroziune a aparaturii, astfel încât devine mai avantajoasă soda caustică. Baia electrolitică este de obicei o cutie de fier în care sînt cufundați trei electrozi tot din fier. Acești electrozi au diverse forme ca de exemplu foi perforate, jaluzele ș.a. Tensiunea dintre anod și catod este de 2—3 V, iar intensitatea curentului poate ajunge pînă la circa 15 000 A. Hidrogenul se degajă în jurul electrodului negativ (catod), iar oxigenul, în jurul electrodului pozitiv (anod).

c. Fabricarea electrolitică a clorului

Metoda de fabricare a clorului se bazează pe electrolizarea unor soluții apoase de clorură de sodiu (sau potasiu), conform cu relația chimică :



Se vede că clorura de sodiu cu apă se produc, în timpul electrolizei, clor, hidroxid de sodiu și hidrogen. La anod se degajă clor, iar la catod, hidrogen.

d. Rafinarea electrolitică a metalelor

Prin rafinarea unui metal se înțelege obținerea lui într-o stare cît mai pură. Principiul procedurii de rafinare electrolitică a cuprului, de exemplu, este următorul : în baia electrolitică se introduc anodi de cupru brut, cu impurități. Catodul este format din foi subțiri de cupru pur, iar electrolitul, dintr-o soluție de sulfat de cupru sau acid sulfuric. În timpul fenomenului de electroliză, cuprul de pe anodi și metalele mai puțin nobile decît cuprul se dizolvă. Metalele nobile din anodi se depun la fund, formînd un nămol împreună cu impuritățile. Metalele mai puțin nobile rămîn în soluție, iar cuprul se depune pe catod, care se îmbogățește în cupru pur.

De asemenea, se pot rafina prin electroliză și alte metale, ca de exemplu aurul, argintul, nichelul ș.a.

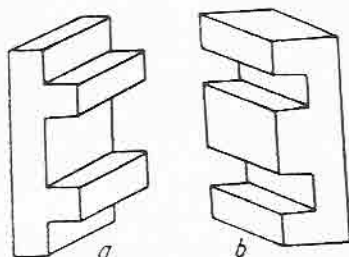
e. Acoperirea electrolitică cu metale (tehnica galvanică)

Se pot acoperi cu metale pe cale electrolitică, atît obiectele metalice, cît și cele nemetalice. Obiectele metalice se acoperă cu alte metale, pentru a le feri împotriva coroziunii, pentru ca suprafața lor să devină mai re-

zistentă la uzură sau pentru a le da un aspect exterior mai frumos (luciu). Acoperirea unui metal cu alt metal prin electroliză se numește galvanostegie

Se poate depune un strat metalic prin electroliză și pe un obiect nemetalic, dacă suprafața acestui obiect a fost făcută bună conducătoare de electricitate (prin grafitare de exemplu). Această operație poartă numele de *galvanoplastie*. În felul acesta se pot confecționa țevi de fier sau de cupru, statuete etc.

Fig. 27-9. Un obiect *a* și copia sa negativă *b*.



În baia electrochimică, obiectul acoperit se așază la catod. Soluția conține metalul ce urmează să se depună. Anozii conțin metalul de acoperit.

Oțelul se protejază, de exemplu, împotriva coroziunii prin zincare sau cadmiere. În cazul zincării electrolitice, baia conține sulfat de zinc, iar în cazul cadmierii, sulfat de cadmiu. Acoperirea cu nichel sau crom produce un luciu frumos, protejează împotriva coroziunii și mărește rezistența la uzură. De asemenea, se pot realiza prin electroliză arămirea, argintarea, aurirea, cositorirea etc. a metalelor. Galvanoplastia a fost descoperită în anul 1837 de către academicianul rus B.S. Iakobi. Pentru reproducerea unui obiect prin galvanoplastie, se confecționează în prealabil din gips, ceară sau altă substanță plastică (ce se poate modela) o copie negativă a obiectului. În figura 27-9 se arată un obiect *a* și copia sa negativă *b*. Copia negativă, după ce se grafilează, se așază la catodul băii electrolitice.

3. PRELUCRAREA METALELOR PRIN METODA ANODO-MECANICĂ

În figura 27-10 se explică principiul metodei anodo-mecanice pentru tăierea unei piese de oțel *P*. Această piesă constituie anodul instalației și se leagă la polul pozitiv al unei surse de curent continuu *S*, care produce la bornele sale o tensiune de 20—30 V. Scula tăietoare *S_c* este un disc rotativ de oțel sau de cupru și se leagă la polul negativ al sursei, constituind catodul instalației. În spațiul dintre electrozi se lasă să curgă prin tubul *T* o soluție de *silicat de sodiu* (sticlă solubilă). Sub acțiunea curentului electric lichidul formează o *felcică* (pojghiță) pe suprafața de prelucrat a

piesei. Discul exercită o mică presiune, care micșorează grosimea peliculei pe porțiunea de tăiat. Pe această porțiune, densitatea curentului crește și provoacă o anumită încălzire. Materialul este îndepărtat prin topire și eroziune electrochimică. Pelicula se reface continuu, iar căldura nu are timp să propage în interiorul piesei și să-i modifice structura. Procedul

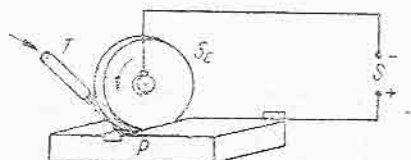


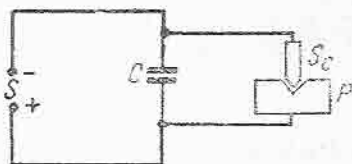
Fig. 27-10. Principiul tăierii prin metoda anodo-mecanică.

are avantajul de a nu necesita decît presiuni mici între sculă și piesă, oferind posibilitatea de a prelucra metalele cu duritate mare. Se utilizează atît la tăiere cît și pentru asculirea sculelor la mașinile-unelte. La unele mașini anodo-mecanice de tăiat mai noi, în locul discului rotativ se găsește o bandă fără sfîrșit.

4. PRELUCRAREA (GĂURIREA) METALELOR PRIN SCÎNTEI ELECTRICE

Principiul prelucrării prin scînteii electrice este arătat în figura 27-11 (cazul găuririi). Piesa metalică P (anod) ce trebuie prelucrată și scula S_c (catod) se leagă la o sursă de curent continuu S . Instalația cuprinde două circuite cu o ramură comună, care conține condensatorul C . Locul de prelucrare este cufundat în lichidul de lucru, constituit din petrol lampant, ulei

Fig. 27-11. Principiul prelucrării prin scînteii electrice.



mineral ș.a. Sursa încarcă condensatorul, iar acesta se descarcă apoi în circuitul sculă-piesă, fenomenele de încărcare-descărcare repetîndu-se periodic. În timpul descărcărilor, lichidul dintre electrozi este străpuns, iar în punctele de străpungere temperatura crește mult, producîndu-se o eroziune a piesei. Cavitățile ce se formează ia forma electrodului-sculă, care are o mișcare de înaintare (avans). Procedul prezintă avantaje deosebite la prelucrarea metalelor dure și extradure, precum și la obținerea unor orificii cu formă complicată. Tensiunea sursei este de obicei de 50—220 V, după felul prelucrării.

5. ÎNCĂLZIREA ÎN ELECTROLIT ȘI PRIN PIERDERI ÎN DIELECTRIC

Principiul încălzirii în electrolit rezultă din figura 27-12.

Vasul metalic V conține un electrolit E , în care se cufundă piesa metalică P . Instalația se alimentează de la o sursă de curent continuu S , astfel încât piesa P (catod) să fie legată la polul negativ, iar vasul V (anod), la polul pozitiv. Se obține o încălzire rapidă și intensă a suprafeței piesei P în contact

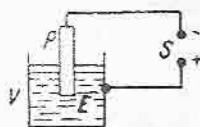


Fig. 27-12. Principiul încălzirii în electrolit.

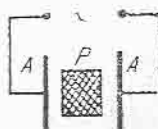


Fig. 27-13. Principiul încălzirii prin pierderi în dielectric.

cu electrolitul din vas. Procedeeul se aplică la călirea unor anumite piese și are avantajul de a încălzi suprafețele ce trebuie călite, mai înainte de a se produce o pătrundere importantă de căldură în interiorul piesei care să modifice structura.

Figura 27-13 ilustrează principiul încălzirii prin pierderi în dielectric, metodă care se aplică pieselor nemetalice. Între armăturile A ale unui condensator se așază piesa P și se aplică armăturilor o tensiune de înaltă frecvență.

În dielectricul constituit din piesa P se produc pierderi de energie, care se transformă în căldură și încălzesc piesa. Acest procedeu se aplică la uscarea lemnului, a cartonului, a fibrelor textile, a unor materiale de construcții etc.

6. ÎNCĂLZIREA PRIN RADIAȚII INFRAROȘII

Radiațiile din spectrul vizibil au lungimi de undă cuprinse între 0,380 și 0,700 μ^* . Limita superioară corespunde culorii roșii. Prin radiații infraroșii sau termice se înțeleg acele radiații care au lungimi de undă cuprinse între

* 1μ (micron) = 10^{-6} m

0,760 și 1 000 μ . Corpurile care absorb asemenea radiații se încălzesc destul de repede și practic independent de temperatura mediului înconjurător.

Pentru producerea acestor radiații se construiesc lămpi cu incandescență pentru radiații infraroșii cu tuburi de 250—1 000 W și avînd forma arătată în figura 27-14. Filamentul incandescent 1 din wolfram este susținut de cîrligele de molibden 2, fixate în lentila 3 de la extremitatea superioară a bas-

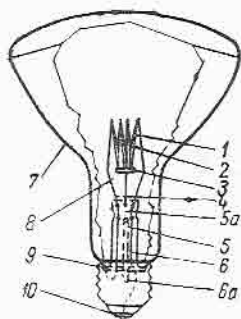


Fig. 27-14. Lampă electrică cu incandescență pentru radiații infraroșii.

tonașului metalic 4 sudat în 5 a de piciorul 5. În 6 există un mic tub, care după evacuarea aerului se închide în 6a. Lampa se umple cu un gaz inert. Balonul 7 din sticlă conținînd sodiu, potasiu și calciu este acoperit în interior pînă la calotă cu un strat reflectant de aluminiu iar calota este mătușă pentru a realiza o distribuție uniformă a radiațiilor. Electrozii 8 ai lămpii sînt legați la bornele 9 și 10 prin care se face legătura cu dispozitivul de aducere a energiei electrice.

Asemenea lămpi se pot întrebuința pentru încălzirea și uscarea anumitor corpuri, ca : vopsele, textile, materiale ceramice, legume, fructe, făină, paste făinoase, chimicale, lemn, hirtie, piele ș.a.

7. PRELUCRAREA PRIN ULTRASUNETE

Ultrasunetele reprezintă vibrațiile unui mediu cu o frecvență care depășește pe aceea a audibilității și anume de circa 20 000 Hz. Pentru prelucrarea materialelor prin ultrasunete se folosește fenomenul de *magnetostricțiune*.

Prin acest fenomen, o piesă din oțel magnetic supusă unui cîmp magnetic alternativ (produs de curentul electric ce trece printr-un bobinaj din jurul piesei), își schimbă periodic lungimea, în funcție de frecvența curentului. Principiul prelucrării materialelor prin ultrasunete rezultă din figura 27-15. În jurul miezului M_1 din oțel magnetic se găsește înfășurată bobina B_1 , parcursă de un curent alternativ, de frecvență ultrasonică. Acest curent este produs de obicei cu ajutorul unui generator special cu tuburi electronice. Miezul M_1 se termină la partea inferioară printr-o sculă tronconică S , destinată să prelucereze o piesă oarecare P .

Circuitul magnetic al miezului M_1 este completat de porțiunile M_2 în formă de potcoavă înconjurate de bobinele B_2 , prin care trece un curent continuu numit de *preomagnetizare*. Curentul de preomagnetizare face ca intensitatea de vibrație a miezului M_1 să crească, iar frecvența să fie egală cu aceea a curentului.

Porțiunile M_2 sînt separate de miezul M_1 printr-un mic întrefier, pentru ca miezul M_1 să poată vibra liber în sens longitudinal împreună cu scula S . Pe masa m se găsește vasul V conținînd apă și granule abrazive de mare duritate. Vibrațiile transmise de sculă lichidului, provoacă în acesta compresii și destinderi. În semiperioadele de destindere se produc o serie de cavități sau bule, care se umplu cu vaporii lichidului și cu gazele ce se găsesc dizolvate în lichid. În semiperioadele de compresie cavitățile dispar în lichid, provocînd totodată șocuri hidraulice care dau naștere la suprapresiuni importante. Prin acest fenomen numit de *cavitatie*, granulele abrazive capătă accelerații foarte mari și lovesc piesa, detașînd din ea mici particule. Această acțiune are loc în dreptul sculei, astfel încît scula deplasîndu-se (printr-un dispozitiv corespunzător) progresiv spre piesă, realizează o cavitate ce corespunde cu forma sculei.

Avantajele principale ale prelucrării prin ultrasunete sînt următoarele :

- posibilitatea de a se prelucra în mod simplu forme complicate în piese conductoare sau izolante cu duritate mare și casante, din oțeluri călite, molibden, germaniu, fontă, ceramică, diamant, sticlă etc.;

- menținerea nemodificată a structurii materialului.

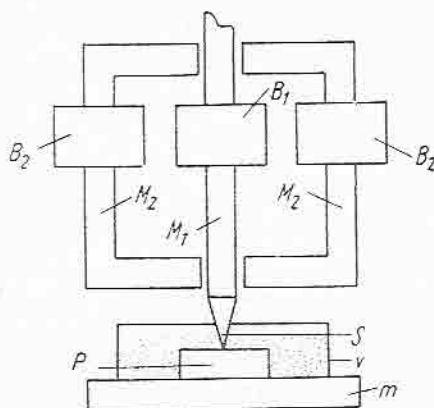


Fig. 27-15. Principiul prelucrării prin ultrasunet.

CAPITOLUL XXVIII

SEMNALIZĂRI ȘI TELECOMUNICAȚII

Prin semnalizări și telecomunicații se înțeleg, în general, transmițerile de informații între un post emițător și unul receptor.

Semnalizările sînt operațiile de transmițere a unui semnal acustic, optic, combinat, sau prin unde electromagnetice la distanțe relativ mici și de obicei în sens unilateral, de la un emițător la un receptor. Informația transmisă prin semnalizare este sumară și se execută după un cod convențional ales.

Telecomunicațiile sînt operații de emisie, transmisie și recepție a informațiilor de orice natură (semne, texte, imagini, semnale, sunete etc.) prin intermediul exclusiv al fenomenelor electromagnetice sau optice, la distanțe mari și în sens uni- sau bilateral.

Telecomunicațiile se clasifică în electrocomunicații și în comunicații optice, ultimele fiind folosite mai ales în navigația aeriană și maritimă.

Electrocomunicațiile cuprind telegrafia, telefonica, radiocomunicațiile și televiziunea.

1. SEMNALIZĂRI ACUSTICE

Sonerie electrică. Soneria este un aparat electroacustic, compus dintr-un electromagnet a cărui armătură mobilă are un ciocănel care lovește într-un clopot, pentru a emite sunete de semnalizare (vezi capitolul IV, figura 4-25).

În figura 28-1 s-a dat schema unei sonerii care poate funcționa și cu o singură lovitură în clopot dacă circuitul se închide numai prin electromagnet, fără a mai trece și prin întreruptorul lamelei vibrante. În acest caz, armătura stă atrasă atît timp cît durează apăsarea pe butonul C, ciocănelul dînd doar o singură lovitură. Butonul B servește pentru funcționare ca so-

nerie obișnuită, vibrantă. O astfel de sonerie poate fi folosită în instalațiile industriale pentru semnalizări, utilizând diverse coduri pentru diversele informații ce se transmit (spre exemplu: semnal vibrant prelungit = avertizare; semnale scurte și lungi, alternate după un cod anumit = informații).

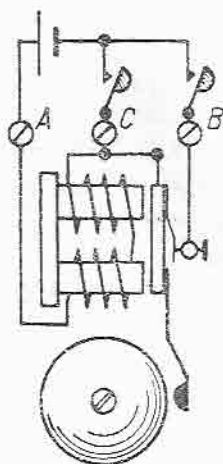


Fig. 28-1. Sonerie electrică cu o singură lovitură.

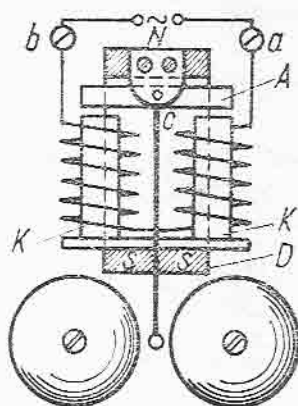


Fig. 28-2. Sonerie numai pentru curent alternativ.

După felul sursei de curent se deosebesc sonerii de curent continuu, alimentate de obicei de elemente galvanice sau baterii uscate și sonerii de curent alternativ, legate la rețeaua de energie electrică prin intermediul unui transformator coboritor de tensiune, a cărei tensiune secundară este de 3—8 V.

Sonerie reprezentată în figura 28-1 poate fi întrebuințată atât în curent continuu, cât și în curent alternativ. Există însă și sonerii numai pentru, curent alternativ, care funcționează fără întreruperea curentului (fig. 28-2) numite sonerii cu electromagnet polarizat. Această sonerie are în circuitul magnetic al electromagnetului un magnet permanent, iar cele două bobine sînt înfășurate în sensuri contrare. Armătura A așezată în fața miezurilor K este fixată astfel, încît se poate roti cu ușurință în jurul unei axe de rotație, mișcînd totodată un ciocănaș care este solidar cu ea. Magnetul permanent face ca miezurile K să fie magnetizate permanent. La trecerea curentului alternativ prin înfășurare, într-o jumătate de perioadă fluxul printr-unul din miezuri se întărește, și prin celălalt miez slăbește, iar în jumătatea de perioadă următoare, curentul schimbînd de semn situația fluxurilor prin

cele două miezuri, se inversează. Din cauza fluxurilor magnetice diferite prin cele două miezuri armătura este atrasă înspre miezul în care fluxul este mai intens. Deci, în cazul folosirii unui curent alternativ cu frecvența de 50 Hz, armătura efectuează într-o secundă $2 \times 50 = 100$ oscilații, iar ciocănelul solidar cu ea lovește de tot atâtea ori în cele două clopote.

Soneriile de curent alternativ sînt foarte sensibile și pot funcționa cu curenți foarte mici, dacă bobinele au spire multe. Față de cele cu întreruperea circuitului, ele au avantajul că nu produc paraziți radiofonici prin scînteile ce apar la acestea din urmă, la fiecare întrerupere a curentului. Soneriile de curent alternativ se folosesc îndeosebi în instalațiile telefonice.

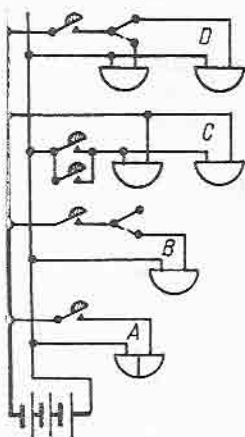


Fig. 28-3. Montaje de sonerii.

Pentru distingerea sunetelor unor sonerii care funcționează într-o aceeași încăpere, clopotele lor se execută în forme și dimensiuni diferite: clopotele plate dau sunete ascuțite, pe cînd cele de formă alungită dau sunete grave.

Soneriile descrise mai sus se montează numai în derivație.

În figura 28-3 sînt reprezentate diferite montaje de sonerii: în A este reprezentată o sonerie cu o singură lovitură, în B, o sonerie cu un întrerupător pentru scoaterea din funcțiune, în C, două sonerii legate în paralel, putînd fi acționate simultan din două locuri diferite (unde se află plasate butoanele), iar

în D, două sonerii putînd fi puse pe rînd în serviciu, cu ajutorul unui comutator.

În afară de sonerii, pentru semnalizarea acustică se mai folosesc: buzere, clacsoane și sirene.

Buzzerul este de fapt o sonerie fără clopot și cu dimensiunile electromagnetului mai reduse; ciocănelul său este înlocuit de o paletă care vibrează la fel ca la soneria simplă și lovește în carcasa de bachelită a buzzerului, producînd un bîzîit. Buzzerul este folosit în locuințe sau birouri, sunetul său fiind mai puțin strident și supărător decît cel al soneriei.

Clacsoanele (hupele) sînt dispozitive de semnalizare mai puternice decît soneriile. Există clacsoane care funcționează în curent continuu sau în curent alternativ. În figura 28-4 este reprezentat un clacson care funcționează în curent continuu. Curentul trece de la clema A la contactul vibrant U, apoi

prin arcu F , care este legat galvanic de inelul de stringere S_p , la clema inelului și de aici, prin hobiță, la clema B . Bobina parcursă de curent atrage miezul de fier K ; acest miez, fiind solidar cu membranele M_1 și M_2 , produce deplasarea acestora în jos. Arcu F , care apasă în jos, întrerupe în U circuitul, ceea ce face ca membranele să revină în poziția inițială, fenomenul repetindu-se apoi cu o frecvență care depinde, printre altele, de elasticitatea, diametrul și grosimea membranelor. Sunetul produs este dirijat în afară printr-o pilnie dreaptă sau curbă. Condensatorul C are rolul de a stinge scînteile la întreruperile circuitului, protejind prin aceasta contactul U și eliminând parazii radiofonici care s-ar produce în lipsa lui. Sunetul produs de clacsoane are o frecvență cuprinsă între 400 și 800 Hz.

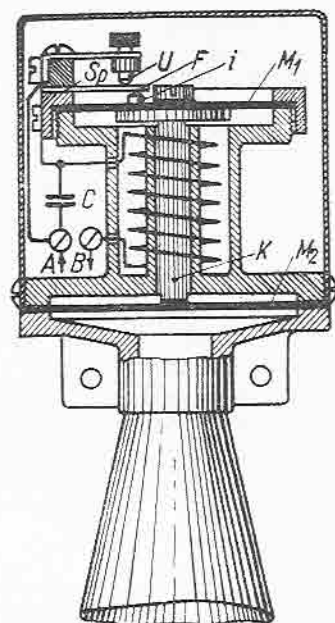


Fig. 28-4. Clacson cu funcționarea în curent continuu.

Sirenele sînt aparate emițătoare de sunete de o foarte mare intensitate, folosite pentru semnalizare în uzină, circulație, navigație sau pentru emiterea unor semnale de alarmă. Sirenele pot funcționa cu curent de aer sau de abur. Sunetul produs are un singur ton și o intensitate foarte mare, putînd fi auzit pînă la distanțe de 10—20 km.

În figura 28-5 este reprezentată o sirenă care funcționează prin curent de aer, antrenată de un motor electric. Toba 1, care are un număr oarecare de camere 4 cu deschideri dreptunghiulare 5, este învîrtită de motorul electric 2, aerul este antrenat prin deschiderea circulară 3, trece apoi prin camerele 4, prin deschiderile 5 și prin deschiderile dreptunghiulare 6 ale tobei fixe 7, egale ca mărime și ca număr cu cele ale tobei rotitoare.

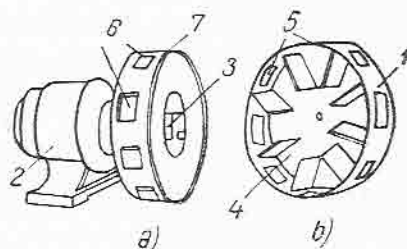


Fig. 28-5. Sirenă cu curent de aer.

Curentul de aer este deci, în mod alternativ, oprit și lăsat să treacă de cealaltă parte a tobei fixe, în atmosferă, suferind astfel comprimări și des-tinderi succesive, cu o anumită frecvență, producând astfel undele sonore. Frecvența sunetului se poate modifica variind turația, iar intensitatea sunetului, prin varierea debitului de aer (prin modificarea deschiderii prin care intră aerul).

Dacă m este numărul de deschideri ale tobei rotitoare și n (rot/s) este turația ei, frecvența sunetului produs este $f = m \cdot n$ (per/s).

2. NOȚIUNI DE TELEGRAFIE

Prin telegrafie se înțelege de obicei acel sistem de telecomunicație, în care se transmit unilateral sau bilateral comunicări la distanță prin semne vizibile sau auzibile, prin întreruperea unor curenți electrici. Acestea se propagă de-a lungul unor conductoare, dintre care, drept conductor pentru întoarcerea curentului se folosește aproape exclusiv pământul.

Părțile principale ale unui telegraf electric sînt: *bateria de alimentare, linia telegrafică, manipulatorul și receptorul.*

Bateria este formată, în general, dintr-un mare număr de elemente dispuse în serie și se află la stația de plecare.

Linia telegrafică care stabilește legătură între stațiunile telegrafice este construită din sîrmă de fier galvanizat, adică acoperit la suprafață cu un strat de zinc care apără fierul de oxidare. Diametrul sîrmei este de obicei, de 4—5 mm, astfel încît rezistența electrică a liniei este de 10 Ω /km. Liniile sînt aeriene, conductoarele fiind susținute pe stîlpii de lemn sau de beton armat, de către izolatoarele de sticlă sau de porțelan, fixate la partea superioară a stîlpilor cu ajutorul unor cîrlige de fier.

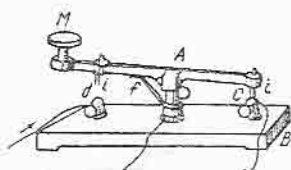


Fig. 28-6. Manipulator Morse.

În telegrafie, drept conductor de întoarcere a curentului este folosit de obicei pământul, deoarece în acest fel se reduce la jumătate cantitatea de material necesară realizării liniei (conductoare și izolatoare); totodată se reduce și sursa de curent la jumătate (față de o linie cu două conductoare aeriene), deoarece rezistența liniei este de două ori mai mică.

Manipulatorul Morse. Acest aparat este în realitate un întrerupător de curent (fig. 28-6) și se compune dintr-o pîrghie metalică care se poate mișca în jurul unui ax orizontal A închizînd unul din cele două contacte cu care

este prevăzută pîrghia la extremitățile sale. Un resort f menține pîrghia manipulatorului într-o poziție anumită, de repaus. Apăsînd asupra mînerului M , pîrghia se apleacă în jos, contactul de sub mîner se închide și cel din partea opusă se deschide. Cînd apăsarea încetează, sub acțiunea resortului, pîrghia revine în poziția sa de repaus.

Receptorul Morse este destinat primirii semnalelor transmise de manipulator. Receptorul Morse (fig. 28-7) este compus dintr-un electromagnet E care atrage (cînd bobina sa este străbătută de curent) o plăcuță de fier A fixată de pîrghia AOD și înclină pîrghia; extremitatea brațului OD al pîrghiei apasă în acest caz asupra benzii de hirtie MN care este antrenată de mișcarea uniformă a cilindrilor a și b învîrțiți de un mecanism de ceasornicărie care se află în interiorul cutiei C . Banda de hirtie este apăsată astfel pe un cilindru m acoperit cu pîslă imbibată în cerneală și va primi o linie de cerneală a cărei lungime depinde direct de durata trecerii curentului prin bobina electromagnetului E . La alte sisteme de receptoare, în locul pîslei imbibate cu cerneală se folosește o roțiță imprimatoare, fixată la extremitatea brațului OD și stînd cu jumătatea ei inferioară într-o baie de cerneală tipografică.

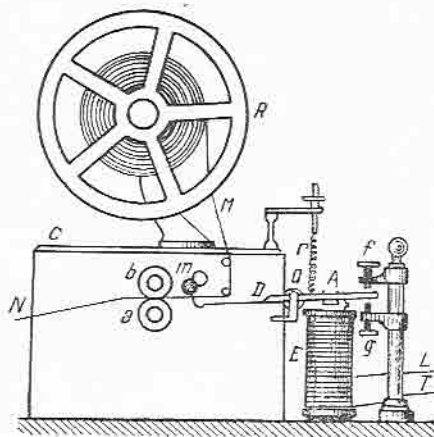


Fig. 28-7. Receptor Morse.

Mișcarea pîrghiei AOD a receptorului Morse este limitată de două șuruburi verticale, f și g , care împiedică pîrghia să se depărteze prea mult de electromagnet, cînd curentul este întrerupt, sub acțiunea resortului r sau să atingă electromagnetul, în care caz piesa A ar păstra un magnetism remanent care ar face ca aparatul să nu mai funcționeze regulat.

După mărimea timpului de trecere a curentului prin electromagnet se imprimă pe hirtie linii sau puncte. Pauzele sînt date de absența curentului. Prin combinarea liniilor și punctelor a fost alcătuit un alfabet convențional numit *alfabetul Morse* (tabela 28-1), în care literelor din alfabet, cifrelor și diferitelor semne de punctuație le corespund anumite grupe de linii și de puncte.

Dintre diferitele montaje folosite în telegrafie (numite montaje Morse), cel mai simplu este cel reprezentat în figura 28-8, numit *montaj cu curent de lucru*.

La acest montaj, bateria fiecărei stații telegrafice trebuie să fie suficient de puternică pentru a putea trimite de-a lungul întregului traseu curentul necesar acționării receptorului, mai ales pentru conducte lungi, fără stații intermediare.

Dacă se apasă (în stația I de exemplu) pe manipulatorul Morse, învin-gîndu-se rezistența resortului F , se închide circuitul bateriei I și aceasta va

Alfabetul Morse

a . —	r . —	/ — — — —
b — ...	s ...	/ — — — —
c — — .	t —	- — — — —
d — . .	u . —	? . . — — .
e .	v . . —	1 . — — — —
f . . — .	w — — —	2 . — — — —
g — — — .	x — — . —	3 . . — — —
h	y — . — —	4
i . .	z — — . .	5
j . — — — —	ch — — — —	6 —
k . — — —	ă . — . .	7 — — . . .
l — . — .	é	8 — — — . .
m — — —	ö — — — .	9 — — — . .
n — .	ü . . — —	0 — — — . .
o — — — —	Greșeală
p . — —	Priceput
q — — . —	Sfârșit . — . .

debita un curent prin electromagnetul receptorului stației II și de acolo, înapoi, prin pământ, curentul se întoarce la bateria I.

În stația II, receptorul intră astfel în funcțiune, electromagnetul atrage armătura respectivă, iar roțița imprimatoare R apasă pe banda de

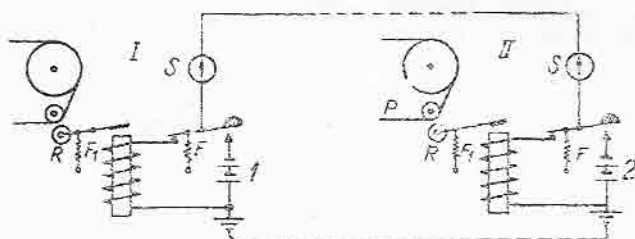


Fig. 28-8. Montaj Morse cu curent de lucru.

hîrtie. Mișcarea benzii de hîrtie este declanșată o dată cu apariția curentului în electromagnet, ceea ce asigură mersul benzii pînă la terminarea transmisiei telegramelor.

Acest montaj are două principale dezavantaje, și anume: instalația nu poate fi controlată cînd nu se află în funcțiune și apoi nu există un control al telegramelor transmise.

Montajul din figura 28-9, numit cu curent de repaus, elimină aceste dezavantaje.

În timpul cît cele două stații sînt în repaus, manipulatoarele sînt fixate în poziția „apăsă”, astfel încît, după cum se vede din figură, traseul stă

tot timpul sub controlul curentului debitat de baterie și indicat de miliampermetrele S din cele două stații.

Cînd se începe transmiterea telegramei, se înlătură piedica ce fixa manipulatorul în poziția „apăsă”, la stația care transmite. La dispariția curentului prin electromagneți este declanșată mișcarea benzii care va dura pînă la terminarea transmiterii telegramei (există un mecanism de ceasornicărie care oprește mișcarea benzii cînd armătura electromagnetului receptorului stă atrasă un timp mai îndelungat decît cel necesar scrierii a două

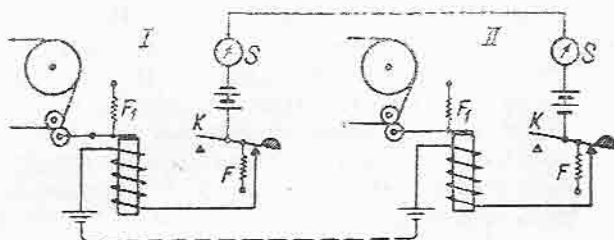


Fig. 28-9. Montaj Morse cu curent de repaus.

cuvinte). Semnalele Morse se înscriu simultan pe banda postului receptor și pe aceea a postului transmițător, permițînd astfel controlul transmiterii telegramei chiar la locul de emisiune.

În prezent, există sisteme perfecționate de telegrafie, și anume:

— telegrafie duplex, în care transmisia se face simultan, în ambele sensuri;

— telegrafie multiplă, avînd transmisia mai multor comunicații deodată, pe același fir și în același sens, realizată prin legarea succesivă și periodică a diverselor perechi de aparate telegrafice emițătoare și receptoare pe același fir sau prin utilizarea unor curenți electrici de frecvențe diferite pentru fiecare pereche de aparate telegrafice, care se separă la recepție prin filtre de bandă (dispozitive care lasă să treacă numai un anumit interval de frecvențe);

— telegrafia rapidă, în care telegramele, scrise în prealabil pe o bandă de hîrtie cu ajutorul unui perforator, sînt transmise automat și rapid, cu ajutorul unor dispozitive cu ace echipate cu pîrghii și contacte. La recepție se obțin, tot automat, puncte și linii pe banda de hîrtie, care trebuie apoi descifrată și transcrisă.

O altă perfecționare a telegrafiei a constatat în traducerea semnalelor Morse în litere obișnuite și scrierea lor direct pe banda de hîrtie. Aceste aparate sînt denumite *teleimprimatoare*. Cu ajutorul teleimprimatoarelor se pot transmite și recepționa comunicările telegrafice direct în litere.

Prin folosirea în telegrafie a mijloacelor radiofonice de emisie și recepție s-a creat *radiotelegrafia* care permite legături telegrafice la distanțe mari fără să necesite instalații prealabile de linii de legătură (de unde și denumirea de telegrafie fără fir, prescurtat TFF).

3. NOȚIUNI DE TELEFONIE

Prin telefonie se înțelege sistemul de telecomunicație în care se transmit bilateral convorbirile, prin mijlocirea curenților electrici care circulă în circuitul închis compus din două conductoare metalice izolate, microfonul și receptorul.

Microfonul este un dispozitiv sensibil, capabil să transforme șocurile slabe provocate de vibrația aerului care se produce datorită vocii omenești, în variații de curent electric destul de puternice. Partea microfonului care primește vibrațiile aerului este membrana microfonului, o placă rotundă, de 0,2—0,3 mm grosime, din tablă de alamă sau aluminiu (fig. 28-10). Membrana este strinsă într-o capsulă de alamă sau aluminiu, nichelată. În spatele membranei se găsesc grăunțe sferice de cărbune presat, cu diametru mic, conținute într-un inel de pislă montat într-un corp de cărbune masiv. Inelul de pislă este în contact cu membrana și vibrează o dată cu ea. Întrucât inelul de pislă este elastic, membrana nu este împiedicată în oscilațiile ei, ci numai puțin amortizată. Atât membrana, cât și corpul de cărbune sînt polizate fin, pentru ca micile scînteii care apar în interiorul capsulei să nu provoace arderea sau lipirea grăunțelor. Recipientul cu grăunțe de cărbune trebuie să fie doar parțial plin cu grăunțe, pentru ca ele să se poată amesteca bine la începutul și la sfîrșitul convorbirii (cînd microfonul este mișcat), evitîndu-se astfel lipirea grăunțelor.

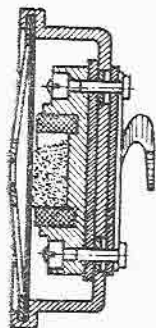


Fig. 28-10. Microfon telefonic cu cărbune.

Funcționarea microfonului se bazează pe variația rezistenței pe care o opune trecerii curentului electric, prin modificarea rezistenței de contact între grăunțele de cărbune, în funcție de presiunea exercitată asupra lor de vibrațiile membranei. Atît timp cît nu se vorbește în fața microfonului, curentul microfonic rămîne un curent continuu constant, care depinde de rezistența microfonului în starea sa de repaus și de tensiunea bateriei. În timpul cît se vorbește în fața microfonului, membrana vibrează și produce variația rezistenței interne a microfonului; curentul care trece prin microfon este variabil în timpul funcționării sale, oscilînd în jurul curentului constant de alimentare, cu frecvența sunetelor pronunțate în fața microfonului.

Microfoanele se montează într-un suport terminal printr-un capac de formă bombată, avînd o sită și cîteva fante paralele prin care se vorbește.

Receptorul telefonic este construit ținînd seama de principiul electromagnet. El este alcătuit dintr-un magnet permanent, din bobine și dintr-o membrană (fig. 28-11).

De magnetul permanent sînt fixate două miezuri de fier moale în jurul cărora sînt înfășurate bobinele. Magneții permanenți sînt confecționați din oțel special și au rolul de a ține continuu membrana puțin atrasă. Bobinele

sînt executate din sîrmă subțire de cupru izolată cu lac sau mătase. Membrana este confecționată din fier moale lăcuit și este potrivită exact și menținută în acea poziție de către un capac fixat de carcasa care conține receptorul.

Curentul care trece prin receptor este identic cu curentul ce trece prin microfon, adică un curent variabil, avînd o componentă continuă și una alternativă de frecvență vocală. Trecînd prin receptor, acest curent va provoca vibrația membranei în ritmul componentei sale alternative, deci va reproduce sunetele rostite în fața microfonului.

Magnetul permanent din receptorul telefonic are rolul de a crea o forță de atracție suficient de mare a membranei, astfel încît forțele care apar ca rezultat al componentei alternative (vocale) a curentului microfonic, să poată solicita membrana în ambele sensuri. Dacă n-ar exista magnetul permanent, membrana nu ar putea fi decît atrasă, atît în timpul alternanțelor pozitive ale curentului microfonic, cît și în timpul alternanțelor negative. Sunetul produs în acest fel ar fi puternic distorsionat.

În practică, deoarece transmisiile telefonice sînt bilaterale, microfonul de la postul transmițător și receptorul postului ascultător sînt reunite într-un singur aparat, numit și aparat telefonic.

Circuitul telefonic cel mai simplu este cel reprezentat în figura 28-12, în care microfonul, receptorul și bateria de alimentare sînt legate în serie în circuit.

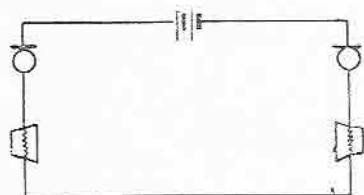


Fig. 28-12. Schema unui circuit telefonic cu montaj direct.

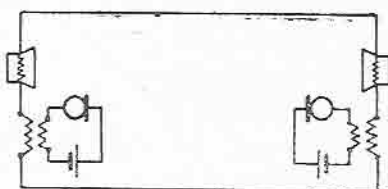


Fig. 28-13. Schema unui circuit telefonic cu montaj indirect, cu baterie locală.

Într-un astfel de circuit, variația curentului este mică, deoarece variația rezistenței microfonului la care se vorbește este mică, procentual, față de rezistența întregului circuit, astfel încît efectul sonor este slab. Acest montaj poate fi folosit doar în instalații cu aparatele aflate în apropiere (în aceeași clădire).

Spre a putea învinge rezistența circuitelor lungi cu căderi de tensiune cît mai mici, curentul alternativ vocal, produs în circuitul local al microfonului cu baterie locală (fig. 28-13), este transformat în curent de tensiune mare și intensitate mică, în bobine de inducție. În acest scop, microfonul

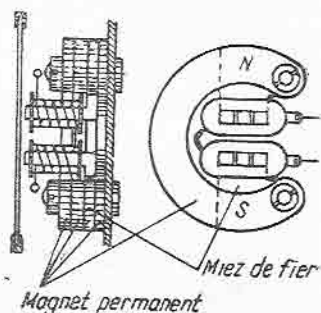


Fig. 28-11. Receptor telefonic.

zat, fixate pe izolatoare de sticlă sau porțelan, sprijinite de suporturi curbați sau de console fixate pe stâlpi de lemn de înălțimi și grosimi corespunzătoare numărului de circuite pe care trebuie să le suporte.

Cablurile subterane și subacvalice sînt construite dintr-un număr relativ mare de perechi de conductoare de cupru sau de bronz, izolate fiecare separat cu hirtie impregnată cu o compoziție specială izolatoare și hidrofugă, avînd fiecare cîte un fir de bumbac colorat diferit, răsucit în spirală în lungul conductorului, pentru a permite recunoașterea perechii de conductoare care formează un circuit telefonic. Toate aceste conductoare sînt învelite într-o singură manta continuă de plumb, care le apără de umezeală. Pentru protecție împotriva acțiunilor mecanice (lovituri), cablurile au blindaje speciale din benzi de oțel.

Un alt sistem telefonic este *radiotelefonica*, care utilizează, în scopul legăturilor telefonice (uneori parțial alteleori total), trasee deservite de stații radiofonice de emisie și recepție.

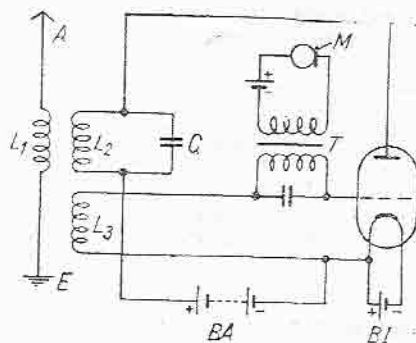
La noi în țară se folosește în prezent pe scară largă sistemele de legături telefonice automate cu curenți purtători, pe liniile cu trafic intens. Majoritatea elementelor necesare pentru telefonic (ca de exemplu: aparate telefonice, rele, selectoare), precum și centrale telefonice semiautomate și centrale automate de bloc, sînt produse astăzi de industria electrotehnică românească (Uzinele Electromagnetice București).

4. NOȚIUNI DE RADIOFONIE

Radiofonia este sistemul de telecomunicație în care se transmit comunicări sau programe vorbite sau muzicale, de la o stație de emisie la diferitele posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de înaltă frecvență care se propagă prin întregul spațiu.

Schema simplificată a unui *post de emisie* se poate vedea în figura 28-15. Unul dintre elementele sale principale îl constituie circuitul oscilant, format din condensatorul C și inductanța L_2 , legate în paralel și montate împreună

Fig. 28-15. Schema simplificată a unui post de radioemisie.



în circuitul anodic al unei triode (v. capitolul IX). Un circuit oscilant are (după cum se știe) o frecvență proprie de rezonanță, dată de relația :

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

în care L și C sînt inductanța și capacitatea sa, exprimate în henry, respectiv în farazi. La frecvența de rezonanță, tensiunea la bornele circuitului oscilant este maximă. În figura 28-15 oscilațiile care ar apărea în circuitul (L_2, C) la corectarea bateriei anodice BA s-ar amortiza repede dacă nu ar exista bobina L_3 cuplată inductiv cu bobina L_2 a circuitului oscilant și conectată în așa fel în circuitul de grilă al triodei, încît să producă o reacție pozitivă asupra curentului anodic al triodei. Pierderile de putere din circuitul oscilant sînt astfel în permanentă înlocuite și tubul împreună cu circuitul (L_2, C) încep să oscileze regulat pe frecvența proprie a circuitului acordat. În același timp, tensiunea alternativă de la bornele circuitului oscilant se induce în bobina de antenă L_1 , datorită cuplajului inductiv care există între L_1 și L_2 , iar din bobina L_1 încep să fie radiate în spațiu unde electromagnetice de frecvența f (înalță).

Cele două înfășurări ale transformatorului T sînt de asemenea cuplate inductiv între ele, astfel încît fluctuațiile de curent provocate de microfonul M acționează de asemenea asupra grilei triodei, cauzînd oscilații de tensiune în ritmul vorbirii. În consecință, curentul anodic al tubului variază în același ritm cu vorbirea. Undele electromagnetice de înaltă frecvență radiate de antenă vor fi prin urmare, *modulate* în ritmul semnalelor sonore produse în fața microfonului (fig. 28-16). Bateriile BI servește la încălzirea tubului.

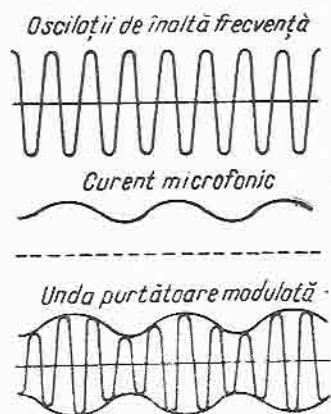


Fig. 28-16. Modul de formare a undelor modulate în amplitudine.

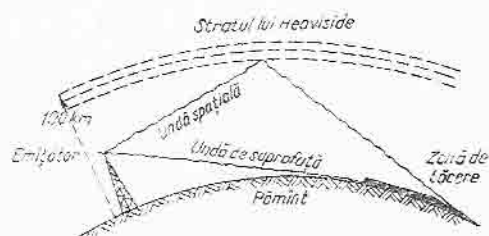


Fig. 28-17. Propagarea undelor radiofonice.

Fiecărui emițător îi este atribuită o anumită frecvență înaltă, denumită *undă purtătoare* a undei de frecvență acustică, pentru a nu se suprapune programele diferitelor posturi de emisie existente. În loc de frecvența f a undelor purtătoare radiate se dă, uneori, lungimea lor de undă λ , relația care le unește fiind :

$$\lambda \cdot f = c,$$

în care c este viteza de propagare a undelor electromagnetice, egală cu viteza luminii (aproximativ 300 000 km/s).

Lungimea de undă a undelor radiate de diferitele posturi de emisie variază de la câțiva metri pînă la peste 2 km și se clasifică în unde ultracurte (de ordinul metrilor), scurte (11—50 m), medii (175—600 m) și lungi (800—2 500 m).

Propagarea undelor are loc în două feluri : o *undă de suprafață* (fig. 28-17) care se propagă în linie dreaptă, de obicei puțin peste limita vizibilității și așa-numita *undă spațială* care se propagă în spațiu și este reflectată de paturile superioare ale atmosferei, situate la circa 100 km deasupra solului (stratul lui Heaviside). Între zona acoperită de unda de suprafață și zona acoperită de unda spațială reflectată, se găsește o zonă în care nu este posibilă recepția emițătorului ; această zonă se numește „zona de tăcere”.

Trebuie remarcat faptul că undele ultracurte nu sînt reflectate de stratul lui Heaviside, ci îl străbat și scapă din zona terestră. În cazul undelor ultracurte, nu se pot recepționa, așadar, decît undele de suprafață.

În ultimul timp, în scopul măririi zonei în care este posibilă recepția emițătoarelor de unde ultracurte, s-a recurs la diferite procedee. Dintre acestea cel mai convenabil este sistemul care folosește sateliți artificiali ai pămîntului înzestrați cu stații de retransmisie a programelor emise, pe anumite lungimi de undă, de către posturile de emisie pe deasupra cărora trece satelitul.

Recepția undelor se face în posturile de recepție, care au la bază de asemenea o antenă și un circuit oscilant acordat pe frecvența undei de recepționat în scopul de a capta tensiunea maximă. După aceasta, unda purtătoare modulată este demodulată, adică este separată unda purtătoare de unda de joasă frecvență (de frecvență acustică). În figura 28-18 se arată modul în care se realizează demodularea, și anume, prin îndepărtarea alternanțelor negative ale undei modulate. Demodularea se mai numește și *detecție*.

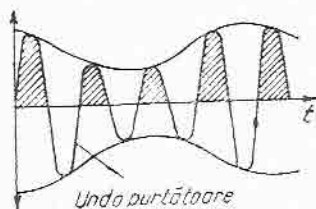


Fig. 28-18. Detecția.

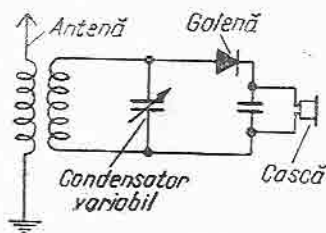


Fig. 28-19. Receptor cu galenă.

Tensiunea de frecvență acustică obținută prin detecție se aplică fie unei căști telefonice (fig. 28-11), fie unui dispozitiv de redat sunetele, construit după un principiu asemănător, dar având dimensiuni mai mari, numit *difuzare*.

Detecția se poate efectua fie cu ajutorul unor tuburi redresoare, fie cu ajutorul unei galene. Aceasta este compusă dintr-un cristal de sulfură de plumb cu care vine în atingere un vîrf ascuțit. Acest dispozitiv permite trecerea curentului doar într-un singur sens. În figura 28-19 este reprezentată schema electrică a unui receptor cu galenă care poate da rezultate bune în apropierea posturilor de radioemisie, unde radiațiile culese de antenă au o intensitate mare.

Dacă postul care trebuie recepționat este situat într-o regiune îndepărtată, trebuie realizată o amplificare a undelor recepționate (eventual în mai multe etaje) înainte de a fi aplicate difuzorului, din cauza atenuării undelor de-a lungul drumului lung parcurs de ele pînă la recepție.

La început, receptoarele erau construite pe baza principiului amplificării directe, descris mai sus. Dezavantajul principal al acestor receptoare constă în faptul că, în timpul funcționării lor, influențează recepția posturilor receptoare învecinate, prin emisiunea unor unde de frecvențe dependente de frecvența postului recepționat.

În prezent majoritatea receptoarelor sînt construite după principiul *superheterodinei*. În figura 28-20 este redată schema simplificată a unui astfel de receptor. În acest receptor, unda purtătoare modulată, culeasă de antenă, este amestecată (în etajul de amestec) cu o tensiune auxiliară generată în etajul de intrare al receptorului, de către oscilatorul local, avînd frecvența întotdeauna mai mare decît frecvența tensiunii modulate recepționate cu o valoare egală cu frecvența intermediară a receptorului (constantă). În tubul de amestec rezultă, ca urmare a amestecului celor două tensiuni de frecvență diferite, așa-numita tensiune de frecvență intermediară, a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor celor două tensiuni amestecate.

De obicei se folosește o frecvență intermediară f_i de 470 kHz. Aceasta înseamnă că frecvența f_0 a tensiunii produse de oscilatorul local este în oricare poziție a condensatorului variabil de acord mai mare decît frecvența tensiunii modulate recepționate f_r , cu valoarea f_i a frecvenței intermediare, adică:

$$f_0 = f_r + f_i = f_r + 470.$$

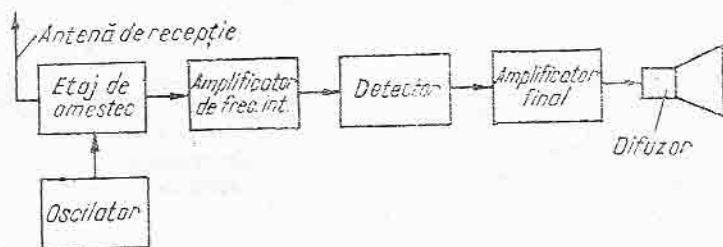


Fig. 28-20. Receptor superheterodină.

În etajul de amestec, în urma amestecului tensiunilor de frecvență f_r și f_0 , apare, ca rezultat al fenomenului de „bătăi”, o tensiune a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor tensiunilor amestecate, adică tocmai o tensiune de frecvență intermediară :

$$f_i = f_0 - f_r = 170 \text{ kHz}$$

care păstrează modulația tensiunii recepționate.

În urma unei amplificări și a detecției acestei frecvențe intermediare, se obține tensiunea de frecvență acustică, care apoi este amplificată și aplicată difuzorului care produce sunetele.

Avantajul superheterodinei față de receptoarele cu amplificare directă constă în faptul că tensiunea pe care o amplifică receptorul are întotdeauna o frecvență constantă. Elementele de montaj necesare în acest scop (filtrele de bandă) pot fi mult mai eficiente, deoarece pot fi calculate să lucreze pentru o anumită frecvență (egală cu frecvența intermediară). În afară de aceasta, amplificarea unei superheterodine este mult mai mare.

Majoritatea aparatelor de radiorecepție obișnuite sînt alimentate prin intermediul unor redresoare de la rețeaua de iluminat de curent alternativ, și numai rareori (în locuri neelectrificate) de la baterii de acumuloare.

În ultimii ani au apărut însă multe tipuri de aparate de radiorecepție transportabile, alimentate de la baterii montate în interiorul lor. Aceste aparate au în locul tuburilor electronice din aparatele obișnuite, tranzistoare sau tuburi electronice subminiatură (de gabarit foarte redus), care funcționează cu un consum și cu tensiuni mult mai mici.

În țara noastră funcționează în prezent 21 stații de radiodifuziune (față de numai trei stații existente înainte de anul 1944), ceea ce asigură audiența programelor naționale pe întreg cuprinsul țării, și a celor pentru străinătate pe toate continentele. Industria electrotehnică românească produce astăzi multe din piesele necesare construcției aparatelor de radio, ca rezistențe, condensatoare, bobine, transformatoare, semiconductoare, tranzistoare, etc. (Întreprinderea I.P.R.S. Băneasa), precum și o gamă largă de receptoare radio cu alimentare de la rețea sau de la baterii, stații de amplificare și difuzoare pentru radioficare și receptoare cu tranzistoare (Uzinele „Electronica” București).

5. NOȚIUNI DE TELEVIZIUNE

Prin televiziune se înțelege un sistem de telecomunicație, prin care se transmit imagini ale unor obiecte fixe sau în mișcare de la un post de emisie, la posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de foarte mare frecvență.

Televiziunea este bazată pe transmisia succesivă a elementelor (punctelor) unei imagini, traducînd variațiile de lumină în variații de curent, la postul de emisie, și apoi variațiile de curent în variații de lumină, la postul de recepție.

Emisia și recepția se fac pe elemente (puncte) separate din imagine, succesiv, dar într-un timp foarte scurt în raport cu timpul necesar transmiterii întregii imagini. În acest fel, datorită persistenței imaginilor luminoase pe retină, ochiul are impresia unei imagini întregi iluminate simultan pe toate punctele ei, deși aceste puncte au fost iluminate succesiv.

În figura 28-21 este reprezentată schema unei transmisii de televiziune. Deosebirea fundamentală dintre televiziune și radiofonie constă, așadar, în faptul că în cazul televiziunii, punctele luminoase sînt transmise succesiv,

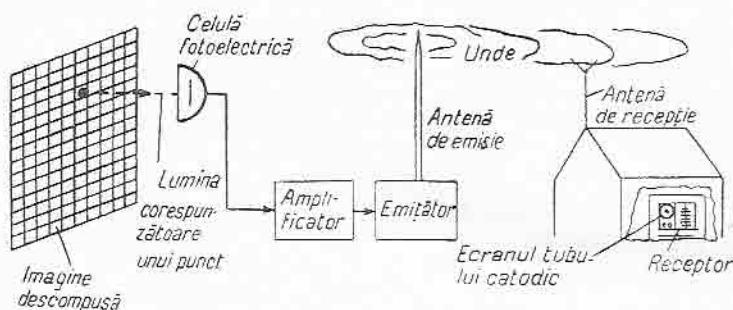


Fig. 28-21. Schema unei transmisii de televiziune.

pe cînd în cazul radiofoniei transmiterea sunetelor se face concomitent. Această deosebire a pus grele probleme de sincronizare tehnicii de înaltă frecvență, pe care însă aceasta le-a rezolvat.

Elementul principal al unui receptor de televiziune este tubul catodic, descris în capitolul IX, paragraful 7. Ca substanțe fluorescente se folosesc silicatul de zinc, wolframatul de calciu, și alte substanțe. Fasciculul electronic este deviat pe 625 linii orizontale de 25 ori într-o secundă. Numărul de puncte ale unei imagini televizate în acest mod rezultă a fi de :

$$\frac{4}{3} \times 625 \times 625 \times 25 = 13\,000\,000,$$

$\frac{4}{3}$ fiind raportul între lățimea și înălțimea imaginii. Presupunînd jumătate din puncte albe și jumătate negre, rezultă 6 500 000 impulsuri de curent pe secundă. Deci frecvența curentului fotoelectric este 6,5 MHz (megaherți). Totodată, aceasta este și lățimea benzii de frecvență ce se transmite prin televiziunea cu 625 linii și 25 imagini pe secundă. Pentru unda purtătoare se ia o frecvență și mai mare, de circa 8 ori, așa încît frecvența purtătoare rezultă de aproximativ 50 MHz, deci cu o lungime de undă

$$\lambda = \frac{300\,000\,000 \text{ m}}{f} = 6 \text{ m}.$$

Totuși au început a fi folosite frecvențe mai înalte, în scopul reducerii paraziților, ajungându-se la frecvența de 200 MHz.

Rezultă că televiziunea folosește undele ultracurte, despre care se știe că se propagă în linie dreaptă, la distanțe care nu depășesc limitele vizibilității.

Bătaia unui post emițător de televiziune nu depășește cu mult orizontul (fig. 28-22, a) și nu trece prin obstacole (de ex. munți : 28-22, b).

Modulația undei purtătoare în ritmul sunetului (v. fig. 28-16) nu se face în amplitudine, ca în radiofonie, ci în frecvență (adică se variază frecvența

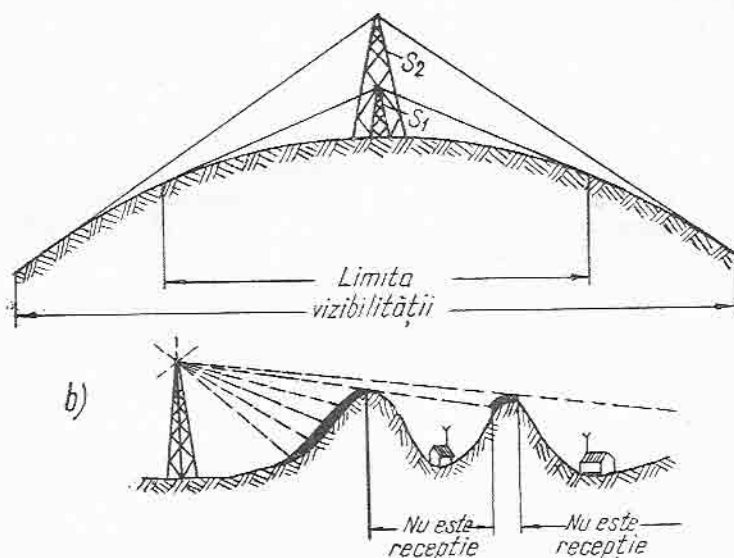


Fig. 28-22. Propagarea undelor ultracurte :

undei purtătoare în ritmul sunetului). În acest caz, transmisia este deranjată mult mai puțin de către paraziții atmosferici sau industriali, care sînt de fapt oscilații atenuate modulate în amplitudine și nu influențează unda care este modulată în frecvență.

Schemele aparatelor de emisie și de recepție de televiziune sînt mult mai complicate decît cele ale aparatelor de radiorecepție și descrierea lor iese din cadrul lucrării de față.

Trebuie subliniat faptul că, de la emisie la recepție, se transmit atît semnalele de imagine cît și cele de sunet.

Tendința actuală în televiziune este ca într-un viitor apropiat să se părăsească procedeele de transmisie în alb-negru și să se adopte procedee de redare a imaginilor în culori și în relief.

Uzina Electronica din București fabrică televizoare românești, cu performanțe dintre cele mai ridicate.

Pe lângă radiofonie și televiziune, s-au studiat și găsit și alte aplicații ale undelor electromagnetice scurte (metrice și centrimetrice).

Astfel, cu ajutorul unor antene de formă specială se pot obține radio-semnale dirijate care, întâlnind în drumul lor diferite obstacole, pot fi absorbite și, parțial, reflectate și difuzate de acestea. Pe fenomenul de reflecție al undelor radiofonice pe corpuri metalice, se bazează metoda de observare a obiectelor la distanțe mari și determinare a poziției lor. Această metodă a primit numele de *radiolocație*.

Principiul acestei metode constă în următoarele: cu ajutorul unui generator și al unui sistem special de antene, se obține un fascicul dirijat de radiounde. După reflexia lor pe obiecte (navă, avion etc.) undele ajung la instalația de recepție și sînt înregistrate. Pentru ca emisia semnalelor să nu dăuneze recepției lor, semnalele durează în total cîteva milionimi de secundă, iar întreruperile dintre semnale sînt de cîteva sute de ori mai mari. Recepția undelor reflectate are loc în timpul întreruperilor dintre semnale. Din timpul scurs între plecarea și întoarcerea semnalului se determină distanța pînă la obiectul observat, iar din poziția antenei se determină direcția. Instalațiile care permit determinarea în acest fel a poziției obiectelor cu ajutorul radio-semnalelor au căpătat denumirea de *instalații radar*.